

Universidad Carlos III de Madrid
Escuela Politécnica Superior
Departamento de Ingeniería Mecánica



PROYECTO FIN DE CARRERA

**Determinación Experimental de Tensión Superficial del agua
en cámara micro-reológica**

TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Industrial, Mecánica
AUTOR: Estela Jiménez de Pablo
TUTOR: Marco Antonio Álvarez Valenzuela
Octubre de 2012

INDICE:

CAPITULO I: INTRODUCCION Y OBJETIVOS	10
1. TENSION SUPERFICIAL.....	10
1.1 DEFINICION DE TENSION SUPERFICIAL.....	10
1.2 ORIGEN DE LA TENSION SUPERFICIAL	12
1.3 PRIMEROS HALLAZGOS	13
1.3.1 El principio de Arquímedes [3-5].....	13
1.4 Otros hallazgos para la tensión superficial	22
1.5 PROPIEDADES DE LA TENSION SUPERFICIAL.....	22
1.6 Tensión superficial de algunos líquidos:.....	24
1.7 Adhesión y Cohesión.....	25
1.8 Fuerza tensil.	27
1.9 DENSIDAD Y HUMEDAD DEL AIRE.....	29
CAPITULO II: METODOS PARA LA DETERMINACION DE LA TENSION SUPERFICIAL	31
2. CLASIFICACION DE METODOS:.....	31
2.1 ASCENSO CAPILAR [12,13]:.....	32
2.2 METODO DE DOBLE CAPILAR [14]:	33
2.3 METODO DE LEVANTAMIENTO DEL ANILLO (tensiómetro de DuNouy): ..	35
2.4 MÉTODO DEL PESO Y DEL VOLUMEN DE LA GOTA:	36
2.5 METODO DEL ESTALAGMOMETRO [14]:.....	38

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLÓGICA

2.6 PRESION MAXIMA DE BURBUJA [14]:	38
2.7 METODO DE LA PLACA (Whilhelmy 1863) [14]:	40
2.8 METODO DEL ESTRIBO [14]:.....	43
2.9 METODO DE LA BARRA VERTICAL [14]:	43
2.10 METODO DE GOTA PENDIENTE O COLGANTE [14]:	44
2.11 METODO DE GOTA COLGADA:	44
2.12 METODO DE GOTA GIRATORIA [16,17]:	46
2.13 METODO DE LA GOTA YACENTE	47
 CAPITULO III. ESTUDIOS Y EVOLUCION DE LA TENSION SUPERFICIAL.....	50
 3. AVANCES.....	50
 CAPITULO IV. PROCESO EXPERIMENTAL.....	56
 4. Elementos empleados para realizar la medición de tensión superficial en relación a la humedad y a la temperatura:	56
4.1 Sistema de medición inicial:	56
4.2 Sistema de medición final:.....	59
4.3 DISIPADOR DE CALOR Y FUENTE.	60
4.4 RELE:.....	63
4.5 TARJETA DE ADQUISICIÓN: KEITHLEY.....	66
4.6 PELTIER:	70
4.7 PID:	73
4.8 SENSOR DE TEMPERATURA [25]:	76
4.9 SENSOR DE HUMEDAD [26]:	77

4.10 CEC TEST POINT V 7.0:	79
4.11 KSV Optical measuring devices instruments	82
4.12 JERINGA	83
4.13 AGUA DESIONIZADA	88
4.14 VOLTIMETRO	89
4.15 GEL DE SILICE	89
4.16 Humidificador	91
 CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS:	 93
 5. RESULTADOS	 93
5.1 GRAFICA DE TENSION SUPERFICIAL Vs HUMEDAD	97
5.2 GRAFICA DE VOLUMEN:	99
 CAPITULO VI: CONCLUSIONES	 100
 CAPITULO VII: TRABAJOS FUTUROS	 101
 CAPITULO VIII: REFERENCIAS	 102

TABLA DE ILUSTRACIONES:

Ilustración 1: Fuerzas de atracción entre las moléculas del agua.....	11
Ilustración 2: ángulo de contacto.....	13
Ilustración 3: flotabilidad de algunos objetos [6]	13
Ilustración 4. Arquímedes de Siracusa nace el 287 AC y en el 212AC.....	14
Ilustración 5. Empuje [3].....	14
Ilustración 6. Un líquido de densidad D y sumergido en él un cuerpo cilíndrico de altura H y área A en su parte superior e inferior. [3].....	15
Ilustración 7: Empuje y peso aparente	17
Ilustración 8: Empuje y flotabilidad.....	18
Ilustración 9: trozo de madera que flota en equilibrio sobre el agua.	19
Ilustración 10: capilaridad y tensión superficial	20
Ilustración 11: Efecto de la capilaridad	21
Ilustración 112: fuerza tensil.....	27
Ilustración 13 METODO DEL ESTALAGMOMETRO [20].....	38
Ilustración 14: Presión de burbuja [14]	39
Ilustración 15: Método de la placa de Wilhelmy.....	40
Ilustración 16: Método de la placa–Balance de fuerzas. [14].....	40
Ilustración 17: Método de la placa para medir la tensión interfacial. [17]	42
Ilustración 18: Sistema para la determinación de la tensión según los métodos de la gota colgada o pendiente, así como del ángulo de contacto. [18].....	45
Ilustración 19: estudio de mojabilidad de liquido en solido.	47
Ilustración 20. Comparación entre los puntos experimentales y la curva Laplaciana [19]	49
Ilustración 21. El microscopio térmico MISURA EXPERT SYSTEM SOLUTIONS...	51
Ilustración 22. Extrapolación de la expansión de un vidrio liquido superando la temperatura de transición.	53
Ilustración 23: Imagen de una gota transparente de vidrio de cal sodada fundido a 1100°C , que se obtiene con el microscopio térmico.....	54

Ilustración 24: Imagen de una gota de aleación fundida sobre un plato de aluminio, en una atmosfera de nitrógeno obtenida con el microscopio térmico.	54
Ilustración 25: Elementos empleados en el proceso experimental. [21]	57
Ilustración 26: Comparación de nuestro método experimental con los descritos anteriores.	58
Ilustración 27: Componentes del sistema de aislamiento inicial	58
Ilustración 28: Sistema de aislamiento de la gota	59
Ilustración 29: disipador de calor.	61
Ilustración 30: elementos empleados en los casos de pruebas.	61
Ilustración 31: ventilador	62
Ilustración 32: Relé empleado	63
Ilustración 33: TARJETA DE ADQUISICIÓN: KEITHLEY	66
Ilustración 34: Peltier. [23]	70
Ilustración 35: PID KS40 PMA [22].	73
Ilustración 36: microcamara(1).	75
Ilustración 37: microcamara(2).	75
Ilustración 38: sensor de temperatura.	76
Ilustración 39: MCP9701 –E/T0 MICROCHIP	77
Ilustración 40: HIH-40000SERIES. SENSOR DE HUMEDAD.	77
Ilustración 41: Comportamiento del sensor de humedad relativa	78
Ilustración 42: CEC TEST POINT V 7.0:	79
Ilustración 43: Relación voltaje & temperatura del programa CEC TEST POINT V 7.0	79
Ilustración 44: gota medida por el programa de tensión superficial	82
Ilustración 45: equipo optico	83
Ilustración 46: jeringa Hamilton	84
Ilustración 47: momento de calibración	85
Ilustración 48: calibración	86
Ilustración 49: sistema preparado para comenzar a medir	87
Ilustración 50: agua desionizada	88
Ilustración 51: voltmetro	89
Ilustración 52: Gel de sílice QP, Panreac de 3–6mm.	89

Ilustración 53: Humidificador por ultrasonidos Medibreeze 91

LISTA DE TABLAS MOSTRADAS:

Tabla 1: tensión superficial en líquidos. [7–9].....	24
Tabla 2: tensión superficial en líquidos a 20°C. [7–9]	25
Tabla 3: comparación de las unidades de presión [10].....	28
Tabla 4: CP SERIES SPECIFICATIONS PELTIER.....	72
Tabla 5: Características del sensor de humedad.	78
Tabla 6: Characteristic CEC TEST POINT V 7.0.....	80
Tabla 7: Especificaciones del sensor humedad.....	81
Tabla 8: datos del sistema de calibración	84
Tabla 9: datos obtenidos	96

LISTA DE GRAFICOS:

Gráfico 1: TENSION SUPERFICIAL Vs HUMEDAD	97
Gráfico 2 Linealidad de la St & HR.....	98
Gráfico 3: Variación de Volumen con respecto al tiempo.....	99

CAPITULO I: INTRODUCCION Y OBJETIVOS

Existen numerosos estudios en los que aparece el concepto de tensión superficial.

En este trabajo se pone en evidencia la relación existente entre la tensión superficial, temperatura y humedad relativa.

Se comprueba el comportamiento de la tensión superficial estableciendo variaciones de la humedad relativa con relación al tiempo, para ambientes controlados.

1. TENSION SUPERFICIAL

1.1 DEFINICION DE TENSION SUPERFICIAL

En física se denomina tensión superficial [1,2] de un líquido a la cantidad de energía necesaria para aumentar su superficie por unidad de área. Esta definición implica que el líquido tiene una resistencia para aumentar su superficie. Es una propiedad que sólo poseen los líquidos, al ser los únicos que poseen una superficie libre. Es una fuerza de tensión distribuida a lo largo de la superficie de un líquido.

La tensión superficial (una manifestación de las fuerzas intermoleculares en los líquidos), junto a las fuerzas que se dan entre los líquidos y las superficies sólidas que entran en contacto con ellos, da lugar a la capilaridad. Fuerza que actúa tangencialmente por unidad de longitud en el borde de una superficie libre de un líquido en equilibrio y que tiende a contraer dicha superficie.

A nivel microscópico, la tensión superficial se debe a que las fuerzas que afectan a cada molécula son diferentes en el interior del líquido y en la superficie. Así, en el seno de un líquido cada molécula está sometida a fuerzas de atracción que en promedio se anulan, lo que ocasiona que la molécula tenga una energía bastante baja. Sin embargo, en la superficie hay una fuerza neta hacia el interior del líquido.

Si en el exterior del líquido se tiene un gas, existirá una mínima fuerza atractiva hacia el exterior, aunque en la realidad esta fuerza es despreciable debido a la gran diferencia de densidades entre el líquido y el gas.

Podemos decir también que una molécula en contacto con su vecina está en un estado menor de energía que si no estuviera en contacto con dicha vecina. Las moléculas interiores tienen todas las moléculas vecinas que podrían tener, pero las partículas del contorno tienen menos partículas vecinas que las interiores y por eso tienen un estado más alto de energía.

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA

Para el líquido, el disminuir su estado energético, es minimizar el número de partículas en su superficie. Energéticamente, las moléculas situadas en la superficie tiene una mayor energía promedio que las situadas en el interior, por lo tanto la tendencia del sistema será disminuir la energía total, y ello se logra disminuyendo el número de moléculas situadas en la superficie, de ahí la reducción de área hasta el mínimo posible.

Como resultado de minimizar la superficie, esta asumirá la forma más suave que pueda ya que está probado matemáticamente que las superficies minimizan el área por la ecuación de Euler-Lagrange. De esta forma el líquido intentará reducir cualquier curvatura en su superficie para disminuir su estado de energía.

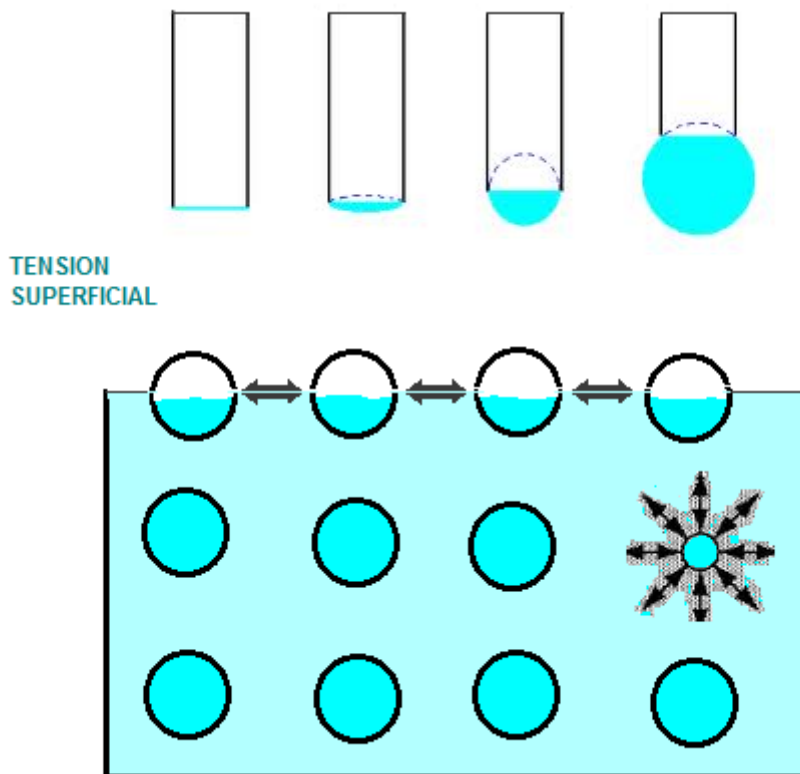


Ilustración 1: Fuerzas de atracción entre las moléculas del agua

1.2 ORIGEN DE LA TENSION SUPERFICIAL

El origen de la tensión superficial puede explicarse de la siguiente manera:

Una molécula situada en el interior del fluido, es atraída por igual en todas direcciones por las moléculas adyacentes y se encuentran en equilibrio.

Por el contrario las moléculas que se encuentran cerca de la superficie (distancias del orden de 10^{-6} mm), el equilibrio se rompe, porque las moléculas son atraídas más por las moléculas del líquido que por las del aire.

Este fenómeno origina una fuerza resultante hacia el interior del fluido.

Si sobre la superficie libre del líquido se traza una línea cualquiera, la tensión superficial, es la fuerza superficial normal a dicha línea por unidad de longitud:

$$\sigma(\text{tension superficial}) = \frac{dF}{dL}$$

Donde F es la fuerza resultante y L la longitud sobre la que se genera la fuerza.

Cuyas unidades en el S.I. es el N/m.

Un fenómeno derivado de la tensión superficial es la capilaridad, éste es un fenómeno que se da en los líquidos, y es debido al efecto de las fuerzas de adherencia que existe entre estos y los sólidos, y las fuerzas de cohesión del propio líquido. Así, cuando las fuerzas de adherencia son mayores que las fuerzas de cohesión el líquido tiende a subir en un tubo capilar, y viceversa.

Se denomina ángulo de contacto (θ), al ángulo formado entre la tangente a la superficie libre del líquido y la tangente a la superficie del sólido adyacente, en el punto de contacto.

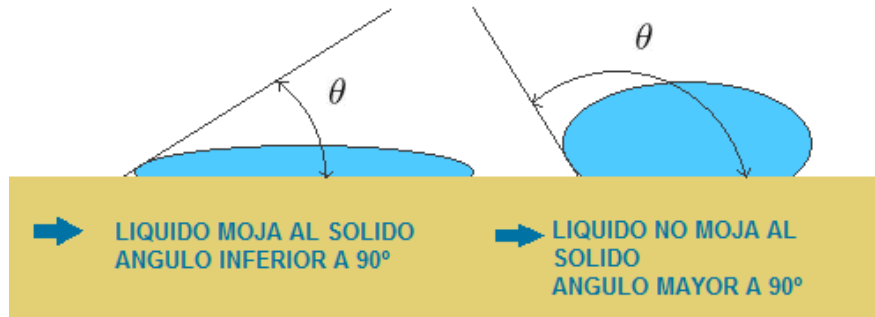


Ilustración 2: ángulo de contacto

- Si este ángulo es mayor de 90° se dice que el líquido no moja al sólido.
- Si este ángulo es menor de 90° se dice que el líquido moja al sólido.
- Con el ángulo de contacto y la tensión superficial se puede estudiar la fenomenología del menisco o ascenso capilar.

1.3 PRIMEROS HALLAZGOS

1.3.1 El principio de Arquímedes [3-5].

Si colocamos sobre agua distintos objetos: madera, plástico, papel, clavos, cubos de hielo, veremos que algunos flotan y otros se hunden. Pero esto no depende únicamente del material, la forma que este tenga es otro aspecto importante a tener en cuenta. Si con un mismo trozo de plastilina o plastilina (es un material de plástico, de colores variados, compuesto de sales de calcio, vaselina y otros compuestos alifáticos, principalmente ácido esteárico) construyes una bola y un disco ahuecado, comprobaremos como el primero se hunde mientras que el segundo flota. Por la misma razón un clavo de hierro se hunde y un barco, del mismo material, flota. Este suceso da lugar al principio de Arquímedes.

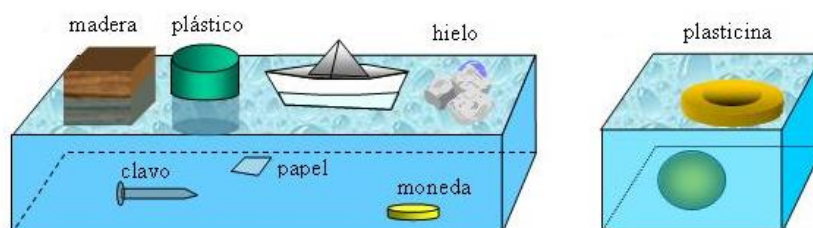


Ilustración 3: flotabilidad de algunos objetos [6]



Ilustración 4. Arquímedes de Siracusa nace el 287 AC y en el 212AC.

Año que cayó Siracusa en manos de los romanos, es asesinado por un soldado a pesar de existir la orden de respetar la vida del sabio. Realizo grandes aportes en física y geometría. [3]

El principio de Arquímedes señala que sobre un cuerpo sumergido en un líquido actúa una fuerza, de abajo hacia arriba (conocida como el empuje), que es igual al peso del líquido desalojado.

Al sumergir la piedra el nivel del líquido sube, poniendo en evidencia el líquido desalojado por la piedra. Al mismo tiempo, es claro que los volúmenes de la piedra y el líquido desalojado son iguales. Ahora bien, el peso de este líquido, es decir, su masa multiplicada por la aceleración de gravedad, es igual a la magnitud de la fuerza que actúa sobre la piedra, de sentido opuesto al peso y que, por lo tanto, la haría sentir más ligera.

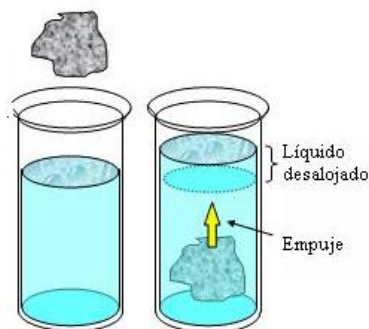


Ilustración 5. Empuje [3]

Se debe comprender que el principio de Arquímedes es una consecuencia de la presión hidrostática (la presión hidrostática es la parte de la presión debida al peso de un fluido en reposo. En un fluido en reposo la única presión existente es la presión hidrostática, en un fluido en movimiento además puede aparecer una presión hidrodinámica adicional relacionada con la velocidad del fluido. Es la presión que sufren los cuerpos sumergidos en un líquido o fluido por el simple y sencillo hecho de sumergirse dentro de este).

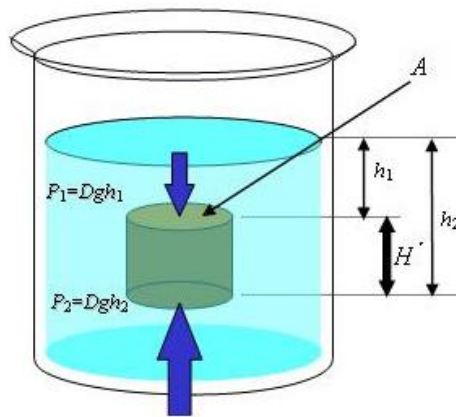


Ilustración 6. Un líquido de densidad D y sumergido en él un cuerpo cilíndrico de altura H y área A en su parte superior e inferior. [3]

En la superficie superior la presión es $P_1 = Dgh_1$, donde h_1 es la profundidad a que se encuentra dicha superficie, g es el valor de la aceleración de la gravedad, con un valor de $9,8 \text{ m/s}^2$, y donde D es la densidad del líquido. Igualmente, en la superficie inferior es $P_2 = Dgh_2$. Arriba la fuerza producida por la presión actúa hacia abajo y la de abajo actúa hacia arriba, siendo mayor esta última dado que $h_2 > h_1$.

Los valores de estas dos fuerzas deben ser $F_1 = P_1 \cdot A$ y $F_2 = P_2 \cdot A$, respectivamente, donde A es el área de la cara inferior y superior, como indica la imagen, con lo cual la fuerza total resultante a la presión que aplica el fluido, ya que las fuerzas laterales se anulan, es:

$$(1) F = F_2 - F_1$$

$$(2) F = (P_2 - P_1) \cdot A$$

$$(3) F = (D \cdot g \cdot h_2 - D \cdot g \cdot h_1) \cdot A$$

$$(4) F = D \cdot g \cdot A \cdot (h_2 - h_1) = D \cdot g \cdot H \cdot A$$

Pero como el volumen del cilindro, y también el del líquido desalojado, es $V = HA$, encontramos que la fuerza que actúa hacia arriba y corresponde al empuje E es:

$$E = D \cdot g \cdot V$$

Como la masa del líquido desalojado es:

$$m = D \cdot V$$

El empuje corresponde a

$$E = m \cdot g$$

Que es el peso del líquido desalojado. Así, hemos demostrado, gracias a las matemáticas, el principio de Arquímedes.

El resultado es general, no depende de la forma del cuerpo que esté sumergido.

Empuje y peso aparente:

La presencia del empuje es lo que nos hace sentir más ligeros cuando nos encontramos sumergidos en el agua, y no es una reducción en el peso.

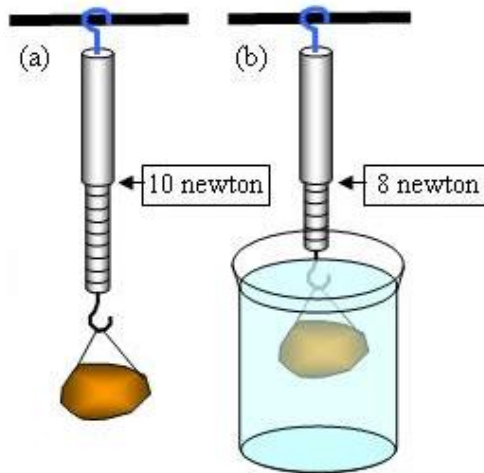


Ilustración 7: Empuje y peso aparente

Al colgar la piedra del dinamómetro este indica que el peso de la piedra es de 10 Newton, y al sumergirla en agua indica 8 Newton, ello se debe a que sobre la piedra, además de la fuerza de gravedad, está actuando el empuje que ejerce el agua. El peso de la piedra es 10 newton, su peso aparente 8 newton y el empuje 2 newton.

Si consideramos que la densidad del agua es 1.000 kg/m^3 y la aceleración de gravedad 10 m/s^2 , entonces, podemos determinar el volumen de líquido desalojado y el de la piedra (que es el mismo).

$$V = \frac{E}{g \cdot D}$$

Por lo tanto:

$$V = \frac{2 \text{ newton}}{(1000 \text{ Kg} / \text{m}^3) \cdot (10 \text{ m/s}^2)} = 0,0002 \text{ m}^3 = 200 \text{ cm}^3$$

También es importante notar que si conociéramos el volumen de la piedra, la medición del empuje con esta metodología y la expresión nos permitirían determinar la densidad D del líquido en que la hemos sumergido. Este es el principio del **densímetro**.

Empuje y flotabilidad:

Sabemos que algunos objetos flotan sobre los líquidos y otros se hunden.

Destacamos tres posibilidades existentes. Si el peso del objeto es mayor que el empuje (a), este se hunde hasta llegar al fondo del recipiente; si es igual al empuje (b), permanecerá “entre dos aguas”; y si es menor que el empuje (c), el cuerpo saldrá a flote y emergerá del líquido reduciéndose el empuje hasta hacerse igual al peso.

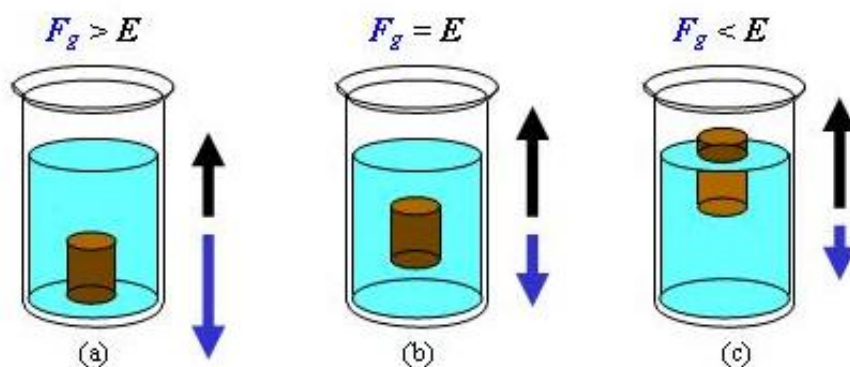


Ilustración 8: Empuje y flotabilidad

En (a) el cuerpo está completamente sumergido, pero como el empuje es mayor que su peso, está ascendiendo. Luego llegará a la posición que se indica en (b), pero igual que antes, seguirá ascendiendo. Desde este momento en adelante parte del cuerpo quedará por encima del nivel del líquido y el empuje se empezará a reducir, hasta hacerse igual a su peso. En este momento el cuerpo flotará en equilibrio. Las flechas azules indican el sentido del movimiento del cuerpo. En los líquidos en general, en tanto, las burbujas de aire u otros gases ascienden igual que un corcho, y lo hacen por la misma razón.

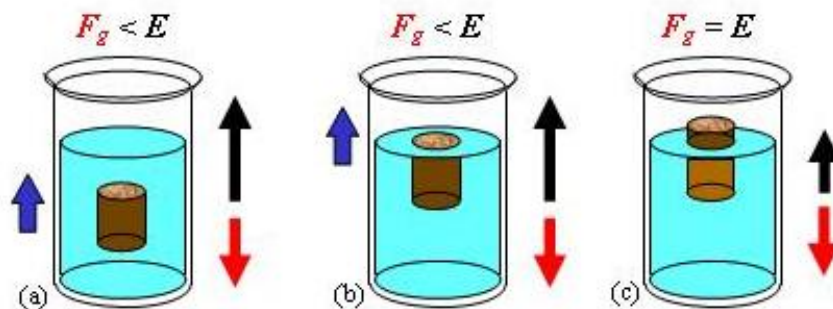


Ilustración 9: trozo de madera que flota en equilibrio sobre el agua.

Es importante advertir que el empuje no solamente actúa sobre cuerpos sumergidos en líquidos. También actúa sobre los cuerpos sumergidos en la atmósfera. Por ejemplo, un globo lleno de helio, asciende porque el empuje que el aire le aplica es mayor que su peso, siendo lo mismo lo que ocurre con los globos aerostáticos. También actúa sobre las personas y todas las cosas que nos rodean. Por ejemplo, cuando nos subimos a una báscula, ella marca un poco menos de lo que marcaría si la atmósfera no existiera.

La capilaridad y la tensión superficial:

Al introducir diferentes objetos en agua u otros líquidos, observarás que las zonas en que dichos objetos están en contacto con la superficie de tales líquidos adoptan curvaturas especiales, que llamaremos *meniscos*. Si el objeto es un tubo capilar, inferior a unos 4 mm de diámetro interior, observarás que el nivel que alcanza el líquido dentro y fuera del tubo es diferente. También podrás constatar que algunos líquidos mojan de manera diferente los objetos; pero en algunos casos los líquidos no mojan en lo absoluto a los objetos, como es el caso del mercurio y el vidrio

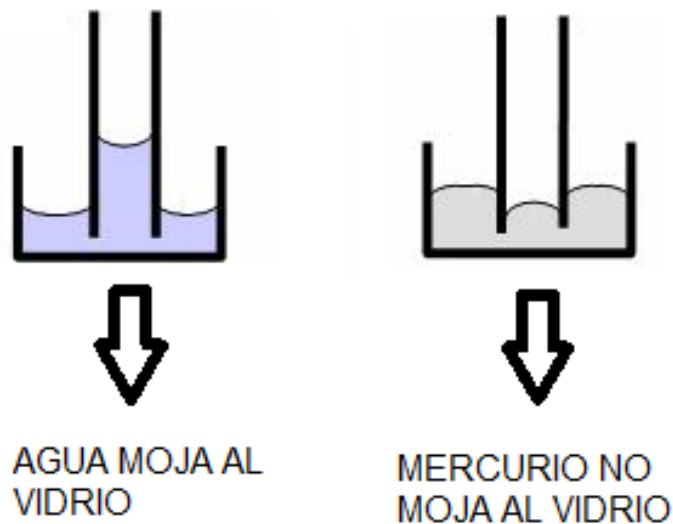


Ilustración 10: capilaridad y tensión superficial

Constatar que algunos líquidos mojan de manera diferente los objetos; pero en algunos casos los líquidos no mojan en lo absoluto a los objetos, como es el caso del mercurio y el vidrio.

Estos efectos suelen ser pequeños y en la vida diaria casi no los apreciamos, son de gran importancia y en muchos casos resultan de gran utilidad práctica. Estos fenómenos ocurren debido a que las moléculas de los distintos materiales interactúan eléctricamente con las moléculas de los líquidos y fluidos en general. Cuando el líquido moja al objeto, estas fuerzas son atractivas, y cuando no los mojan, repulsivas. Por otra parte, en las superficies de los líquidos estos átomos y moléculas se atraen

entre sí más fuertemente que en otros lugares, produciendo lo que se denomina **tensión superficial** (medida que nos atañe en este estudio).

El que los líquidos puedan ascender por delgados tubos se denomina capilaridad.

el agua asciende hasta
aquí

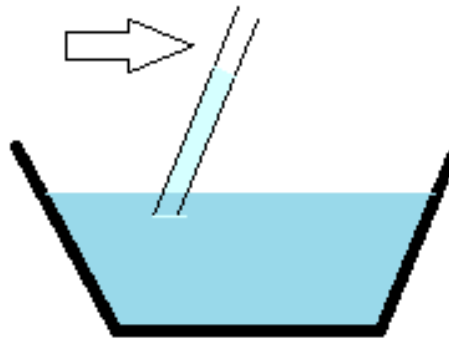


Ilustración 11: Efecto de la capilaridad

Si se calienta en un mechero un tubo capilar de vidrio y lo estiras cuando se esté fundiendo de modo que se adelgace lo más posible, observamos que al introducir un extremo en agua esta asciende varios centímetros por el tubo.

Fue Henry Cavendish quien descubrió en 1781 que el agua es una sustancia compuesta y no un elemento, como se pensaba desde la Antigüedad. Los resultados de dicho descubrimiento fueron desarrollados por Antoine Laurent de Lavoisier dando a conocer que el agua estaba formada por oxígeno e hidrógeno. En 1804, el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac y el naturalista y geógrafo alemán Alexander von Humboldt demostraron que el agua estaba formada por dos volúmenes de hidrógeno por cada volumen de oxígeno (H_2O).

Ya que el oxígeno tiene una electronegatividad superior a la del hidrógeno, el agua es una molécula polar. El oxígeno tiene una ligera carga negativa, mientras que los átomos de hidrógenos tienen una carga ligeramente positiva del que resulta un fuerte momento dipolar eléctrico. La interacción entre los diferentes dipolos eléctricos de una molécula causa una atracción en red que explica el elevado índice de **tensión superficial del agua**.

La fuerza de interacción de la tensión superficial del agua es la fuerza de Van der Waals entre moléculas de agua. La aparente elasticidad causada por la tensión superficial explica la formación de ondas capilares. A presión constante, el índice de

tensión superficial del agua disminuye al aumentar su temperatura. También tiene un alto valor adhesivo gracias a su naturaleza polar.

La capilaridad se refiere a la tendencia del agua de moverse por un tubo estrecho en contra de la fuerza de la gravedad.

1.4 Otros hallazgos para la tensión superficial

Kurt von Neergaard (1887-1947), [15]. Doctor en medicina. Dirigió el Instituto de Terapéutica Física de la Universidad de Zúrich. En 1929 descubrió que se necesitaba menos presión para inflar un pulmón con líquido que con aire sugiriendo que la diferencia podría deberse a la existencia de tensión superficial en la interfase aire líquido de los alvéolos. También descubrió que la tensión superficial en el pulmón era menor que la que se esperaba para una interfase aire líquido simple y sugirió la presencia de alguna sustancia tensoactiva. Sus investigaciones sentaron las bases para el descubrimiento del surfactante pulmonar y la explicación de la enfermedad de las membranas hialinas en los niños prematuros.

1.5 PROPIEDADES DE LA TENSION SUPERFICIAL

Algunas de las propiedades de la tensión superficial se destacan las siguientes:

La tensión superficial suele representarse mediante la letra σ . Sus unidades son de:

$$N \cdot m^{-1} = J \cdot m^{-2}$$

$\sigma > 0$, ya que para aumentar el estado del líquido en contacto hace falta llevar más moléculas a la superficie, con lo cual aumenta la energía del sistema y σ eso la cantidad de trabajo necesario para llevar una molécula a la superficie.

$$\sigma = \frac{dw_{rev}}{dA}$$

La tensión superficial depende de la naturaleza de las dos fases puestas en contacto que, en general, será un líquido y un sólido. Así, la tensión superficial será igual por ejemplo para agua en contacto con su vapor, agua en contacto con un gas

inerte o agua en contacto con un sólido, al cual podrá mojar o no debido a las diferencias entre las fuerzas cohesivas (dentro del líquido) y las adhesivas (líquido-superficie).

La tensión superficial se puede interpretar como una fuerza por unidad de longitud (se mide en $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$). Esto puede ilustrarse considerando un sistema bifásico confinado por un pistón móvil, en particular dos líquidos con distinta tensión superficial, como podría ser el agua y el hexano. En este caso el líquido con mayor tensión superficial (agua) tenderá a disminuir su superficie a costa de aumentar la del hexano, de menor tensión superficial, lo cual se traduce en una fuerza neta que mueve el pistón desde el hexano hacia el agua.

El valor de la tensión superficial depende de la magnitud de las fuerzas intermoleculares en el seno del líquido. De esta forma, cuanto mayor sean las fuerzas de cohesión del líquido, mayor será su tensión superficial. Podemos ilustrar este ejemplo considerando tres líquidos: hexano, agua y mercurio. En el caso del hexano, las fuerzas intermoleculares son de tipo fuerzas de Van der Waals. El agua, aparte de la de Van der Waals tiene interacciones de puente de hidrógeno, de mayor intensidad, y el mercurio está sometido al enlace metálico, la más intensa de las tres. Así, la σ de cada líquido crece del hexano al mercurio.

Para un líquido dado, el valor de la tensión superficial disminuye con la temperatura, debido al aumento de la agitación térmica, lo que redundará en una menor intensidad efectiva de las fuerzas intermoleculares.

El valor de la tensión superficial tiende a cero conforme la temperatura se aproxima a la temperatura crítica T_c del compuesto. En este punto, el líquido es indistinguible del vapor, formándose una fase continua donde no existe una superficie definida entre ambos.

1.6 Tensión superficial de algunos líquidos:

A continuación se muestran datos de tensión superficial para distintos líquidos, incluido el valor del agua para poder comparar posteriormente con los datos experimentales.

<i>Líquido</i>	<i>Tensión superficial Din</i> <i>cm-1</i>	<i>Líquido</i>	<i>Tensión superficial Din</i> <i>cm-1</i>
Mercurio	465,0	Alcohol etílico	22,75
Acetona	23,7	Éter etílico	17,01
Benceno	28,85	n-Hexano	18,43
Tetracloruro de carbono	26,95	Metanol	22,61
Acetato de etilo	23,90	Tolueno	28,5
		Agua	72,75

Tabla 1: tensión superficial en líquidos. [7-9]

<i>Líquido</i>	<i>TENSION SUPERFICIAL $\sigma/(10^{-3}N/m)$</i>
Acetona	23,70
Benceno	28,85
Tetracloruro de benceno	26,95
Acetato de etilo	23,9
Alcohol etílico	22,75
Eteretilico	17,01
Hexano	18,43
Metanol	22,61
Tolureno	28,5
Agua	72,75

Tabla 2: tensión superficial en líquidos a 20°C. [7-9]

1.7 Adhesión y Cohesión

Las fuerzas intermoleculares [11] que enlazan moléculas similares entre sí, tal como los puentes de hidrógeno son llamados fuerzas cohesivas y las fuerzas intermoleculares que enlazan una sustancia a una superficie se llaman fuerzas adhesivas.

El agua colocada en un capilar se adhiere a este, debido a que las fuerzas adhesivas entre el agua y las paredes del capilar son más grandes que las fuerzas cohesivas entre las moléculas de agua. La capilaridad, es el fenómeno al cual se debe, parcialmente, el ascenso de la savia desde las raíces hasta las hojas.

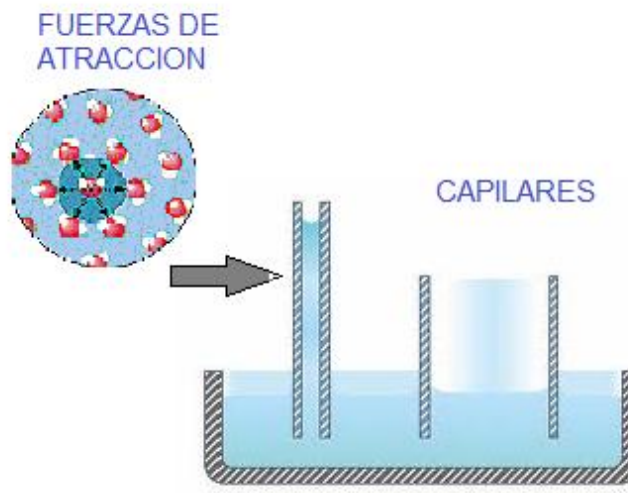


Ilustración 13: Adhesión y cohesión.

Cuando se coloca en agua en un capilar, el agua se eleva dentro del tubo. La capilaridad es el ascenso del líquido en tubos muy delgados. Las fuerzas adhesivas entre el líquido y las paredes del tubo tienden a aumentar el área superficial del líquido. La tensión superficial del líquido tiende a reducir el área por consiguiente impulsa el ascenso del líquido.

La cohesión, la adhesión y la tensión superficial causan la capilaridad (movimiento de agua hacia arriba de un capilar). La distancia del movimiento a través del capilar, se debe a la atracción que ejerce la periferia de la superficie polar del capilar (adhesión) sobre el agua y a la tensión superficial del agua, que tiende a minimizar el área superficial.

La adhesión y la tensión superficial, ejercen tensión sobre las moléculas de agua, justamente bajo la superficie y causan su movimiento hacia la parte alta del tubo, hasta equilibrar la fuerza de adhesión con el peso de la columna de agua. En tubos más pequeños la capilaridad se eleva más alta.

1.8 Fuerza tensil.

La cohesión da al agua [10], alta fuerza tensil o capacidad para resistir una fuerza de succión. En general no se piensa en la fuerza tensil de los líquidos, pero esa propiedad debe existir para que una columna de agua sea succionada hacia arriba por un tubo capilar sin romperse. La fuerza tensil del agua, se puede demostrar, colocando agua en una jeringa tapada.

Cuando el émbolo se empuja, el agua se comprime y se construye una presión hidrostática positiva. La presión se mide en unidades llamadas pascales (Pa) o Megapascuales (MPa).

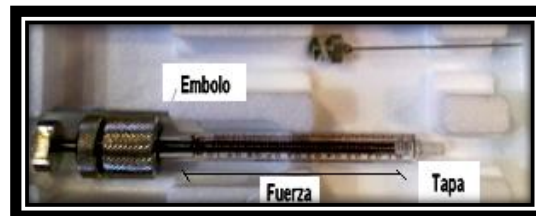


Ilustración 112: fuerza tensil

Con una jeringa cerrada se pueden crear presiones positivas y negativas en un fluido como el agua. Al empujar el émbolo se comprime el fluido y se genera una presión positiva. Si dentro de la jeringa se atrapa una pequeña burbuja de aire, esta se aplastará con el aumento de presión.

Por succión del émbolo, se creará una tensión o presión negativa en el fluido y cualquier burbuja de aire se expandirá en la medida que se reduce la presión con relación a la presión atmosférica.

Debido a que la fase gaseosa se puede expandir indefinidamente, cuando una burbuja se expande dentro de la jeringa la presión nunca se reducirá hasta la del vacío.

En una jeringa llena con una solución desgasificada y sin burbujas, se puede desarrollar presión bajo vacío (presión negativa) debido a que los puentes de hidrógeno que sostienen junto el fluido pueden soportar considerable tensión antes de romperse.

Si en cambio de empujar sobre émbolo, se succiona, para resistir esta fuerza, en el agua se desarrolla una presión hidrostática negativa o tensión. La ruptura de la

columna necesita suficiente energía para superar la fuerza de atracción entre las moléculas de agua.

1 atmósfera	= 14.7 libras por pulgada ²
	= 760 mm de Hg (a nivel del mar, 45° latitud)
	= 1,013 bar
	= 0,1013 MPa
	= 1,013 x 10 ⁵ Pa

Una llanta de un vehículo normalmente se infla a 02 MPa

La presión del agua en la llave de la casa es 0,2 a 0,3 MPa

La presión del agua bajo 15 pies (5 m) de agua es 0,05 MPa

Tabla 3: comparación de las unidades de presión [10]

En la jeringa, pequeñas burbujas de aire pueden interferir con la medida, porque se expanden con la reducción de la presión. Sin embargo se ha demostrado que el agua en capilares pequeños pueden resistir tensiones negativas menores de 30 MPa (el signo negativo indica tensión como opuesto a compresión). Este valor es solo una fracción de la fuerza teórica del agua calculada con base en la fuerza de los puentes de hidrógeno. El valor equivale al 10% de la fuerza tensil de un alambre de Cu o de Al, por tanto es importante.

La presencia de burbujas de gas reduce la fuerza tensil de las columnas de agua.

La presión absoluta posible, más baja en la fase gaseosa es 0 MPa (vacío puro) debido a que las fuerzas intermoleculares de atracción necesarias para resistir una presión negativa (o tensión) no existen en los gases ideales. En contraste en sólidos y líquidos las atracciones intermoleculares pueden resistir la fuerza tensil. Por tanto si una burbuja de gas se forma en una columna de agua bajo tensión, se expandirá indefinidamente, resultando el colapso de la fase líquida, fenómeno conocido como cavitación, cuyo efecto puede ser devastador sobre el transporte a través del xilema de los árboles.

1.9 DENSIDAD Y HUMEDAD DEL AIRE

La densidad del aire varía de unos días a otros dependiendo de la cantidad de vapor de agua existente en la atmósfera. Además, esta densidad se ve afectada por los cambios tanto de la presión como de la temperatura atmosférica.

Un parámetro de gran importancia en meteorología es la humedad relativa del aire y la temperatura del punto de rocío. La determinación de esta temperatura a primeras horas de la noche establecerá aproximadamente una cota inferior para la temperatura mínima esperada e indicará si son posible heladas (temperatura del punto de rocío por debajo de $0\pm C$) o no.

Para medir la densidad de una muestra de aire basta conocer su masa y su volumen ya que la densidad de masa de un cuerpo de valor m y volumen v se define como:

$$d = \frac{m}{V}$$

- Siendo d la densidad de la muestra de aire.

A partir de la densidad de una muestra de aire se puede calcular la densidad normalizada del aire que está definida por los siguientes parámetros:

- Presión parcial del vapor de agua: $P_w = 0 \text{ Mb}$.
- Temperatura de aire: $T_0 = 273 \text{ K}$.
- Presión atmosférica: $P_0 = 1013,25 \text{ Mb}$.

Como se ve el aire es seco, es decir no contiene ningún vapor de agua.

Los pasos a seguir para calcular la densidad normalizada del aire, a partir de la densidad de aire (húmedo) medida, son los siguientes:

Se tiene en cuenta que el aire con el que se trabaja es siempre húmedo, por tanto es preciso eliminar la contribución del vapor de agua. Esto se consigue teniendo en cuenta la presión parcial de vapor de agua, P_w . La densidad del aire seco, ρ_a se relaciona con la densidad del aire húmedo, ρ_a (esta última densidad es la que se mide experimentalmente) a través de la presión parcial del vapor de agua, P_w y de la presión parcial del aire seco, P_a , mediante la siguiente expresión:

$$\rho_a \cong \rho_a \cdot \left(1 + \frac{5}{8} \cdot \frac{P_w}{P_a}\right)^{-1}$$

Se tiene en cuenta el efecto de la temperatura del aire, T , y de la presión parcial del aire seco P_a ($P = P_a = \rho_a + P_w$). La densidad normalizada de una muestra de aire, ρ_0 , está relacionada con la densidad del aire seco, ρ_a , a través de la temperatura del aire, T y de la presión parcial del aire seco, P_a mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_0 = \rho_a \frac{T P_0}{T_0 P_a}$$

Teniendo en cuenta la relación anterior, se obtiene que:

$$\rho_0 = \rho_a \frac{T P_0}{T_0 P_a} \left(1 + \frac{5}{8} \cdot \frac{P_w}{P_a} \right)^{-1}$$

Se tiene en cuenta el efecto de la presión atmosférica, $P_a = P$. Incorporando este efecto a la fórmula anterior, puede demostrarse que:

$$\rho_0 \approx \rho_a \frac{T P_0}{T_0 P_a} \left(1 - \frac{3}{8} \cdot \frac{P_w}{P_a} \right)^{-1}$$

Esta expresión es la que hay que emplear para determinar la densidad del aire normalizada.

En la anterior expresión aparece una variable que no conocemos, P_w . Para la determinación de la presión parcial de vapor recurriremos al siguiente procedimiento: si enfriamos una masa de aire, el vapor de agua empezará a condensarse cuando la presión parcial del mismo, P_w , sea igual al valor máximo permitido para el vapor de agua a esa temperatura P_{sat} . La temperatura a la cual empieza la condensación se denomina temperatura del punto de rocío. Cuando se alcanza el punto de rocío se verifica:

$$P_w = P_{sat} (T_{rocío})$$

Por lo tanto, para conocer la temperatura del punto de rocío de una masa de aire, basta enfriarla y medir la temperatura a la cual empieza a condensarse

CAPITULO II: METODOS PARA LA DETERMINACION DE LA TENSION SUPERFICIAL

2. CLASIFICACION DE METODOS:

1.- Métodos Basados en la Medición de una Fuerza.

- Método del anillo.
- Método del plato (Wilhelmy).

2.- Métodos Basados en la Medición de la Presión.

- Método de la elevación capilar.
- Método de presión de burbuja.

3.- Métodos basados en las Medidas Geométricas o de Deformación de una Interfase en un Campo Gravitacional.

- Método de la gota pendiente.
- Método de la gota colocada.
- Método de la gota giratoria.

Existen varios métodos para determinar la tensión superficial; unos podrían ser estáticos o dinámicos, dependiendo del tiempo de permanencia de la superficie o también métodos basados en tubos capilares o superficies curvas.

2.1 ASCENSO CAPILAR [12,13]:

Cuando un líquido asciende por un tubo capilar y moja las paredes del tubo, forma un menisco cóncavo en la superficie líquido-aire en virtud de una diferencia de presión entre el líquido contenido en el recipiente y la presión del líquido en el interior del capilar. Esta diferencia de presión provoca un ascenso del líquido en el interior del capilar que se detiene en el momento en que las presiones son iguales, es decir la presión hidrostática de la columna de líquido en el capilar y la presión fuera del mismo.

Por tanto, mientras más suba el líquido por el capilar, la diferencia de presiones es mayor y por lo tanto mayor es el valor de la tensión superficial del líquido. Esto está representado en la ecuación de Young-Laplace.

$$\Delta P = \frac{2 \cdot \sigma}{R}$$

Donde se observa que la tensión superficial depende directamente de la diferencia de presiones mientras que el radio del capilar la afecta inversamente.

Otros fenómenos que influyen en el ascenso o descenso del líquido por un capilar es el valor relativo de las fuerzas de cohesión entre las moléculas de un mismo líquido y las fuerzas de adhesión entre el líquido y las paredes del tubo. Estas fuerzas determinan el ángulo de contacto que forma el líquido con las paredes del tubo. Si este ángulo es pequeño se dice que el líquido moja la superficie y se forma entonces un menisco cóncavo.

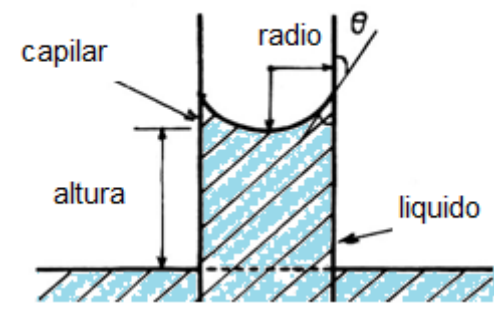


Ilustración 16: ascenso capilar.

El método de un capilar utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{h \cdot g \cdot r \cdot \rho}{2 \cdot \cos\theta}$$

h = altura de la columna líquida dentro del capilar

g = aceleración debida a la gravedad

r = radio del capilar

ρ = Densidad del líquido

Para ángulos de contacto que tienden a cero y líquidos que mojan totalmente las paredes de los capilares, el ángulo = 0 entonces la fórmula a seguir es:

$$\sigma = \frac{h \cdot g \cdot r \cdot \rho}{2}$$

2.2 METODO DE DOBLE CAPILAR [14]:

Con el propósito de tener mejores resultados, una variante del método es introducir un segundo capilar de diferente diámetro que el primero, así las alturas serán diferentes ya que resultan ser inversamente proporcionales a los radios de sus respectivos capilares. Aquí, lo importante es medir la diferencia de alturas entre el radio 1 (el tubo capilar de menor diámetro) y el radio 2 (tubo capilar de mayor diámetro).

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA

La ecuación para dos capilares deriva de la de un capilar, quedando de la siguiente forma:

$$\sigma = (h_1 - h_2) \cdot \rho \cdot \left(\frac{g}{2}\right) \cdot \left(\frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1}\right)$$

Dónde:

- h_1 y h_2 son las alturas del líquido en el tubo capilar de radio más pequeño y del menos pequeño respectivamente
- ρ , es la densidad del líquido problema
- r_1 y r_2 son los radios más pequeño y menos pequeño respectivamente.

Como se aprecia en la formula, es necesario conocer los radios de los capilares, sin embargo esta medición resulta difícil de hacer e inexacta , por lo que recurrimos a un líquido de referencia cuya tensión superficial y densidad sea conocida y despejamos en la ecuación :

$$\frac{\sigma}{(h_1 - h_2) \cdot \rho} = \left(\frac{g}{2} \left(\frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1}\right)\right)$$

2.3 METODO DE LEVANTAMIENTO DEL ANILLO (tensiómetro de DuNouy):

Este método se basa en medir la fuerza necesaria para separar un anillo de la superficie, bien suspendido el anillo del brazo de una balanza, o utilizando un sistema de hilo de torsión.

La fuerza para despegarlo está relacionada con la tensión superficial o interfacial por la expresión:

$$\sigma = \frac{\beta \cdot f}{4 \cdot \pi \cdot r}$$

Dónde:

- f es el empuje aplicado al anillo en dinas;
- r es el radio medio del anillo
- β es un factor de corrección.

Para tener un ángulo de contacto cero, se utilizan anillos de platino perfectamente limpios. Es esencial que el anillo repose plano sobre la superficie líquida.

Para medidas en interfaces, el líquido inferior debe mojar con preferencia el anillo.

La tensión superficial actúa sobre toda la circunferencia de este anillo, y la nueva superficie que se forma posee dos lados. Al momento de la ruptura, el peso del líquido desprendido será igual al producto de la tensión superficial por dos veces (la superficie externa y la superficie interna) es el perímetro del círculo. Si m es la masa medida, se puede escribir:

$$P = m \cdot g = 2 \cdot p \cdot d \cdot g$$

$$g = m \cdot g / 2 \cdot p \cdot d = m \cdot g / 4 \cdot p \cdot r$$

Harkins y Jordan han publicado hace ya 60 años unas tablas de corrección que toman en cuenta la forma del menisco. Están todavía válidas y permiten lograr una precisión del orden de 2%.

Algunos tensiómetros computarizados toman en cuenta esta corrección en forma automática.

Zidema y Waters han propuesto una ecuación para calcular el factor correctivo. En teoría se podría obtener un error inferior a 0,01 dina/cm; en realidad el error es del orden de 0,1 dina/cm, lo que es por lo general perfectamente suficiente.

En realidad es necesario tomar en cuenta un factor de corrección el cual varía de 0,75 a 1,07 que depende de una pequeñísima porción de líquido que quedó adherido.

Generalmente los constructores de aparatos fabrican estos equipos ya calibrados, de tal forma que no se requiere hacer cálculos de medición y los valores de tensión superficial los da directamente. Asimismo hay otros equipos más sofisticados digitales y con control de temperatura.

2.4 MÉTODO DEL PESO Y DEL VOLUMEN DE LA GOTA:

Es un método muy conveniente para la medición de la tensión superficial en una interfase líquido-aire o la tensión interfacial líquido-líquido.

Consiste en conocer el peso o medir el volumen de las gotas de un líquido que se desprenden lentamente de la punta de un tubo estrecho o capilar montado verticalmente. El peso de la gota (y el volumen) se relaciona con la fuerza debida a la tensión superficial. El momento de desprendimiento de las gotas ocurre cuando su peso ya no está equilibrado por la tensión superficial que se ejerce a lo largo de la periferia exterior del extremo de la pipeta.

Un capilar sostenido por un soporte de forma que se encuentre completamente vertical, se carga con el líquido en cuestión, el cual deberá caer en un recipiente o contenedor. Se dejan caer lentamente las gotas en la punta del capilar de tal forma que tengan una velocidad de flujo que nos permita ver la formación de cada gota y su conteo.

Antes de contar el número de gotas, se deberá pesar el recipiente contenedor, luego pesar todas las gotas y posteriormente calcular el peso promedio de una gota.

Aplicar la ley de Tate (previamente conocer la densidad del líquido y el diámetro del capilar).

$$\sigma = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot f} \quad ; \quad f = \frac{r}{v^{\frac{1}{3}}}$$

Dónde:

- m es la masa de la gota; g es la aceleración debida a la gravedad
- r = es el radio del capilar (cm)
- f = es un factor de corrección que introduce Harckin y Coll el cual depende del radio del capilar.

Después de obtener el resultado de f (el cociente de $r/v^{1/3}$) correlacionarlo con los valores en las tablas de corrección para el peso de la gota existente en la literatura adecuada.

Cuando lo que se mide es el VOLUMEN de la gota:

$$g = v \cdot r \cdot g \cdot f / 2 \cdot p \cdot r$$

Dónde:

- v es el volumen
- d es la densidad
- r es el radio del capilar
- f factor de corrección que se requiere ya que :
 - a) la gota formada no se desprende completamente de la punta del tubo.
 - b) las fuerzas de tensión superficial raramente son verticales, por lo que f depende del cociente r/v

Aquí el conteo de las gotas a una velocidad de flujo constante y adecuado es la clave del buen resultado. Además del requerimiento indispensable de la limpieza del capilar.

2.5 METODO DEL ESTALAGMOMETRO [14]:

Es útil para determinar la tensión interfacial de dos líquidos; en este caso, se cuenta el número de gotas de un líquido en caída libre (N_1) y las gotas del mismo líquido formadas en el seno del segundo líquido (N_2).

Al formarse lentamente una gota de líquido dentro de un capilar, la gota caerá cuando su peso sea mayor que la fuerza debida a la tensión superficial que sostiene a la gota adherida a la superficie.



Ilustración 13 METODO DEL ESTALAGMOMETRO [20]

2.6 PRESION MAXIMA DE BURBUJA [14]:

Una pequeña burbuja que se forma en la extremidad de un pequeño tubo inmerso en el líquido, al que se le aplica una presión, lo que hace que el radio de la burbuja aumente. Cuando la burbuja llega a ser un hemisferio de radio igual al radio del tubo, todo aumento posterior de la presión provoca la desaparición de la burbuja ya que se dilata y luego se desprende.

El valor de presión máxima se logra cuando la burbuja es una semiesfera siendo el radio de curvatura mínimo. Un mayor crecimiento de la burbuja en este punto induce la ruptura de la misma y un ascenso del líquido por el capilar.

La presión aplicada, es igual a la diferencia de presión entre los dos lados de la superficie curva, a la cual se agrega la presión hidrostática, función de la profundidad h del orificio del tubo:

$$\text{Presión máxima} = \left(\frac{2 \cdot \sigma}{r} \right) + h \cdot \rho \cdot g$$

Dónde:

- r es el radio de burbuja
- h es la profundidad del tubo
- g es la aceleración de la gravedad
- ρ es la densidad del líquido
- σ es la tensión superficial

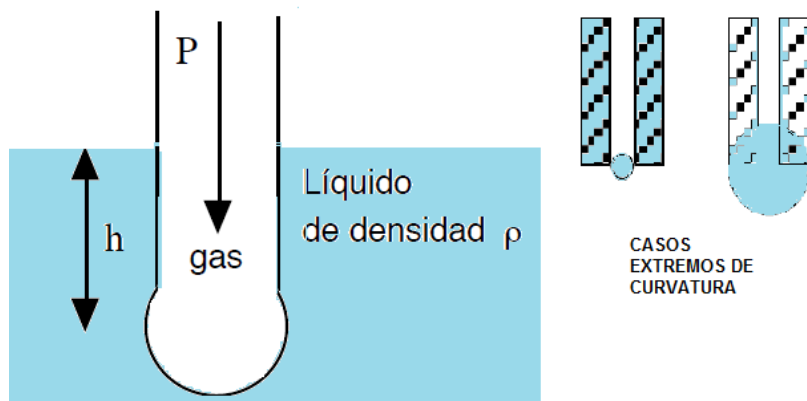


Ilustración 14: Presión de burbuja [14]

2.7 METODO DE LA PLACA (Whilhelmy 1863) [14]:

Se utiliza una placa de geometría rectangular perfectamente conocida suspendida verticalmente a una balanza de precisión. El lado inferior de la placa se pone en contacto (horizontalmente) con la superficie del líquido para que se moje. Luego se ejerce una fuerza vertical sobre la placa para levantarla. La placa se levanta poco a poco, y de cada lado se forma una interfase curva; se levanta la placa hasta que se produzca el arranque.

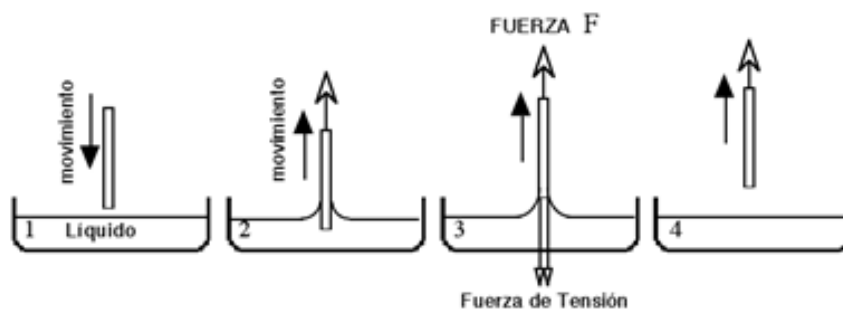
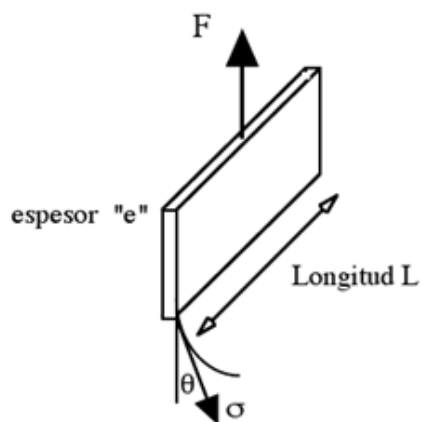


Ilustración 15: Método de la placa de Wilhelmy

En la posición justo antes del arranque se puede calcular el equilibrio de fuerzas entre las fuerzas de tensión que se aplican de parte y otra de la placa y la fuerza de levantamiento F .



Balance de Fuerzas

$$F = 2 (L+e) \sigma \cos \theta$$

pero $e \ll L$ y $\theta = 0$

$$\sigma = \frac{F}{2L}$$

Ilustración 16: Método de la placa–Balance de fuerzas. [14]

Usualmente la placa es de platino levemente rugoso, de tal forma que el ángulo de contacto sea lo más pequeño posible, y se pueda suponer igual a cero. La placa mide típicamente 29,9 mm de largo (L) y 0,1 mm de espesor, en cuyo caso el perímetro completo es de 60 mm. La balanza es en general una balanza de torsión que el usuario manipula con una palanca. En ciertos modelos (automáticos) es un motor que asegura el levantamiento, y un sistema registrador monitorea la fuerza.

En el momento del arranque, ninguna parte del volumen de la placa está dentro del líquido, y por tanto no se necesita realizar corrección alguna por empuje de Arquímedes (lo que requiere en otros de los métodos).

Por otra parte este método no produce una superficie nueva al momento de producirse la medición. En la práctica se puede colocar el líquido dentro del recipiente varias horas antes y dejar equilibrarse la superficie. Por lo tanto este método es particularmente bien adaptado a los sistemas que contienen sustancias surfactantes cuyo tiempo de adsorción puede ser largo. Permite sin embargo medir la tensión dinámica; basta con verter el líquido en el recipiente justo antes de tomar la medida.

Este aparato permite también evaluar el ángulo de contacto entre un líquido y un material sólido. Basta medir primero la tensión superficial con una placa de platino ($\theta = 0$), y luego medirla con una placa hecha del material a evaluar. La relación entre las dos fuerzas medidas es $\cos \theta$.

En teoría la precisión de la medida está solo limitada por el conocimiento de la geometría de la placa (L y e) y la precisión de la balanza. En la práctica, no se puede tener una precisión mejor que $\pm 0,2$ dina/cm, al menos de trabajar en atmósfera inerte con precauciones extremas. Por lo tanto las balanzas utilizadas son en general balanzas económicas que dan el centígramo, ya que no se justifica una mejor precisión. No se gana gran cosa en comprar un aparato automático, al menos que se quiera realizar centenares de mediciones al día.

Este aparato es muy versátil, en particular para medir tensiones superficiales de soluciones acuosas, en el rango 70 dina/cm (agua pura) - 30 dina/cm (soluciones de detergentes); permite obtener fácilmente una reproducibilidad del orden de 2%, lo que es suficiente para determinar la concentración micelar crítica de una solución de surfactante.

El método de la placa de Wilhelmy se puede usar también para las interfases líquido-líquido, en cuyo caso hay que proceder de la forma siguiente. Primero se vierte en el recipiente el líquido menos denso y se hunde integralmente la placa en este líquido. Se mide entonces la fuerza necesaria para equilibrar el sistema F1 (esta fuerza toma en cuenta el empuje de Arquímedes sobre la placa hundida en la fase menos densa). Luego se limpia y se seca la placa. Se vierte entonces el líquido más

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLÓGICA

denso en un segundo recipiente y se baja la placa hasta establecer el contacto. Luego se saca la placa hasta una posición levemente más baja que el arranque y se vierte cuidadosamente el líquido menos denso hasta recubrir la totalidad de la placa.

Finalmente se procede a levantar la placa hasta producirse el arranque, lo cual ocurre con una fuerza F_2 . La fuerza neta requerida $F_2 - F_1$ permite calcular la tensión como en el caso anterior.

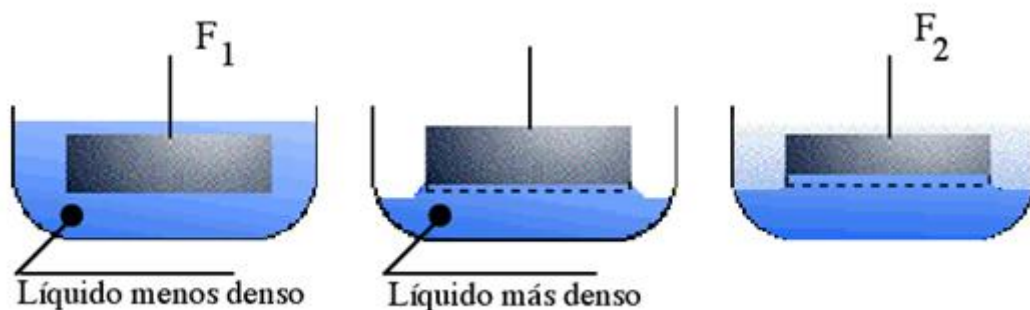


Ilustración 17: Método de la placa para medir la tensión interfacial. [17]

Obviamente que el método implica que la placa de platino esté más mojada por el líquido más denso que por el líquido menos denso. Si la fase más densa es de tipo acuoso, y la fase menos densa es de tipo aceite, el ángulo de contacto es por lo general 0 y se puede asumir $\cos \theta = 1$

Como en el caso de una superficie gas-líquido se puede usar el método para determinar el ángulo de contacto mediante dos mediciones.

2.8 METODO DEL ESTRIBO [14]:

Se ha propuesto un gran número de variantes a los métodos de la placa y del anillo.

El método del estribo consiste en medir la fuerza de contacto trifásico de un segmento de alambre de platino ubicado horizontalmente. Es esencialmente la misma situación que en el método de la placa, pero con la característica del método del anillo de prescindir de un ángulo de contacto cero, puesto que se mide también la fuerza máxima. Por las mismas razones que las discutidas con el método del anillo requiere correcciones fastidiosas. Como presenta una línea de contacto en general más corta, no tiene ninguna ventaja sobre el método del anillo.

2.9 METODO DE LA BARRA VERTICAL [14]:

Se levanta un menisco al despegarse de la superficie. Este método es esencialmente la parte externa del método del anillo, y por lo tanto presenta los mismos inconvenientes, con la desventaja de una línea de contacto trifásico dos veces menor. Además es a veces difícil determinar el ángulo de contacto

Sin embargo este tipo de aparato se utiliza para medir la velocidad con la cual se desplaza la frontera trifásica, algo relacionado con las fuerzas de adhesión del líquido sobre el sólido. Investigadores de los fenómenos de adhesión lo han llamado “pegosímetro”. Es cierto que puede presentar un interés para analizar la adhesión de un cabello o de una fibra textil con un líquido.

Sin embargo la teoría del desplazamiento de un contacto trifásico está todavía en sus primeros pasos, y a un nivel bastante avanzado. Se notará por ejemplo que el Prof. P. de Gennes, premio Nobel de Física (interfacial) del año 1992, publicó en 1985 los primeros trabajos sobre el cambio del ángulo de contacto con la velocidad de desplazamiento de la línea de contacto. En consecuencia esta medida de pegosidad se mantiene todavía a un nivel muy empírico.

2.10 METODO DE GOTA PENDIENTE O COLGANTE [14]:

Cuando se deja colgar una gota de un gotero, se produce una geometría de equilibrio entre la fuerza de gravedad que tiende a estirar la gota y la fuerza de tensión que tiende a encogerla.

La medida de los diámetros d_1 y d_2 permite hallar la tensión interfacial mediante los nomogramas de Andreas, Hauser y otros.

Este método es relativamente simple, ya que exige solamente medir dos longitudes, lo cual se hace fácilmente con un telemicroscopio o sobre una macrofotografía. Sin embargo se requiere una cierta destreza experimental para formar una gota estable (en general con una bureta micrométrica) y para mantenerla libre de oscilación.

El método se aplica para tensiones intermedias, ya que es poco preciso para tensiones muy altas (la gota es esencialmente esférica) y que por otra parte la gota tiende a descolgarse si la tensión es muy baja ($\gamma < 0,01$ dina/cm).

2.11 METODO DE GOTA COLGADA:

Cuando la tensión es particularmente baja, la deformación gravitacional es fuerte y por tanto no se puede usar el método anterior. Más bien se coloca la gota contra una superficie sólida (abajo o arriba según la diferencia de densidad de los fluidos).

Si la gota es suficientemente aplastada ($r \gg h$), entonces la curvatura en la extremidad superior o inferior ("polo") es esencialmente cero, y la distancia h del "polo" al "ecuador" es independiente del diámetro de la gota. En tal caso se puede deducir la tensión superficial o interfacial por una relación del tipo:

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot \Delta\rho \cdot g \cdot h^2$$

- Donde $\Delta\rho$ es la densidad relativa de un fluido respecto al otro.

Si la gota no está completamente aplastada se puede usar una fórmula más exacta como:

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot \Delta\rho \cdot g \cdot h^2 \left[1 + 0,61 \cdot \frac{h}{r} \left(1 - \frac{4 \cdot h^2}{r^2} \right) \right]$$

Por supuesto que este método implica disponer de una superficie no mojada por el fluido de la gota (o burbuja), lo que no es difícil en la práctica si se dispone de vidrio, metal y teflón.

Las condiciones de aplicación de la fórmula anterior (gota aplastada) se logran bien sea cuando la tensión es baja y la gota pequeña, bien sea cuando la gota es relativamente grande pero la tensión es alta. Para fijar las ideas se necesita una gota de mercurio del orden de 3 cm de diámetro (tensión superficial = 480 dina/cm), y una gota de 2 mm de diámetro para un sistema de tensión interfacial ultrabaja (0,001 dina/cm).

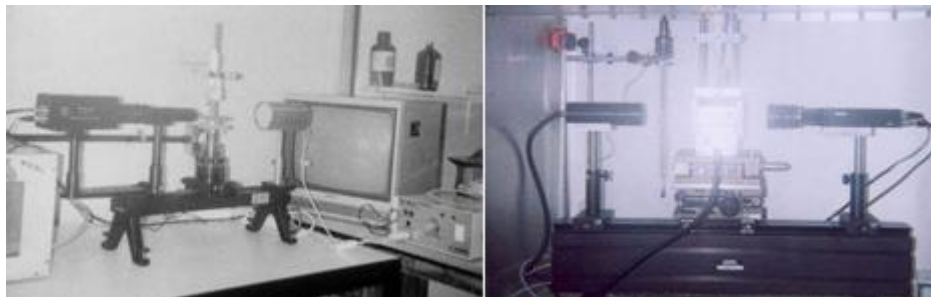


Ilustración 18: Sistema para la determinación de la tensión según los métodos de la gota colgada o pendiente, así como del ángulo de contacto. [18]

El método es por tanto apropiado para un rango bastante amplio de valores de tensión, y se aplica con la misma facilidad para tensión superficial como para tensión interfacial. El aparato requiere una celda termostataada (lo que permite trabajar a alta temperatura) y un dispositivo de telemedición de longitud montado sobre un banco óptico;

Es el mismo tipo de aparato que permite usar el método de la gota colocada y de la gota pendiente; además este tipo de aparato permite en general medir también el ángulo de contacto cuando se acompaña de un dispositivo de retículo inclinado.

2.12 METODO DE GOTA GIRATORIA [16,17]:

Si se coloca una gota de fluido menos denso dentro de un tubo lleno de líquido más denso, y que se hace girar el tubo sobre su eje de tal forma que la gravedad centrípeta excede considerablemente la gravedad natural, se tiene un sistema en el cual el vector gravedad apunta del eje hacia la pared del tubo. En tal sistema la fuerza de gravedad tiende a reunir el fluido menos denso cerca del eje, lo que resulta en un alargamiento de la gota, mientras que la fuerza de tensión tiende a reducir el área interfacial de la gota, lo que resulta en un encogimiento.

La tensión se expresa por:

$$\gamma = \frac{1}{4} \Delta \rho \omega^2 r^3$$

Donde r es el radio de la gota (lo cual se puede medir con bastante precisión) y ω es la velocidad angular del tubo.

En realidad se usa en general un coeficiente de corrección delante del factor $1/4$ para tomar en cuenta el efecto de lupa que produce la pared del tubo (la cual puede ser muy espesa si se trata de un capilar). Se requieren tubos especiales con espesor de pared extremadamente constante para evitar cualquier deformación durante la medición del diámetro de la gota, que es el valor experimental más crítico (aparece al cubo en la fórmula).

El método de la gota giratoria originalmente propuesto por Vonegut hace unos 40 años, fue mejorado por Cayias, Schechter y Wade en los años 70 para poder medir las tensiones ultrabajas producidas en los sistemas que contienen microemulsiones. Demostró ser una alternativa mucho más fácil de manejar que el método de la gota colocada en este tipo de sistema.

Algunos años más tarde Scriven utilizó el mismo aparato, pero con una programación de la velocidad de rotación, lo que resulta en una variación pulsante del estiramiento de la gota. A partir de la respuesta de frecuencia, fue capaz de deducir la viscosidad superficial del sistema, una propiedad extremadamente difícil de alcanzar. Hace unos años, Gracia logró modificar el aparato para realizar una electroforesis de una burbuja atrapada en el tubo por la gravedad centrípeta.

Puesto que la única alternativa conocida es la experimentación en ausencia de gravedad (Space Shuttle), es obvio que este aparato promete comercializarse. En

efecto es extremadamente interesante poder medir la carga superficial de una burbuja, porque permite alcanzar propiedades de interés como la adsorción, que son muy valiosas en procesos como la flotación, y la utilización de espumas en general.

2.13 METODO DE LA GOTA YACENTE

En la actualidad existen varios tipos de análisis de gotas con simetría axial o ADSA. Pero antes debemos tener en cuenta aspectos como la ecuación de Young, que es la que gobierna el equilibrio de una gota de líquido sobre un sustrato sólido, por su relevancia dentro del estudio de la mojabilidad de líquidos en sólidos y porque además interviene el parámetro θ , que es el ángulo de contacto.

$$\gamma_{lv} \times \cos\theta = \gamma_{sv} - \gamma_{sl}$$

γ_{lv} = tensión superficial del líquido
 γ_{sv} = energía libre superficial del sólido
 γ_{sl} = energía interfacial sólido – líquido

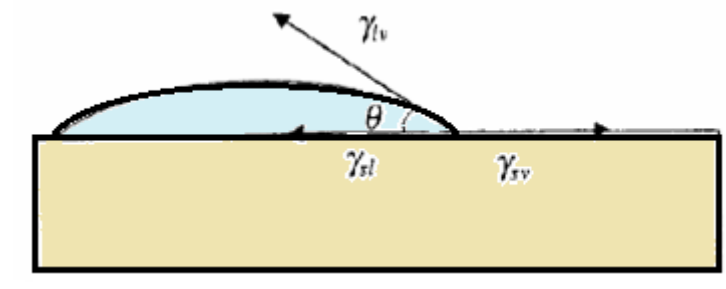


Ilustración 19: estudio de mojabilidad de líquido en sólido.

Decir también, que el ángulo de contacto de una gota de líquido respecto a un sólido, no es más que el ángulo que queda determinado por la superficie del sustrato, y la recta tangente al perfil de la gota en el punto de contacto con la superficie del sustrato.

El método *Sessile Drop*, para determinar el ángulo de contacto de una gota de líquido que moja un sustrato sólido, es una técnica que usa el análisis geométrico de la interficie formada por una gota; técnica conocida con el nombre de ADSA (Axisymmetric Drop Shape Analysis – Profile). Para simplificar el análisis y así poder trabajar con imágenes en dos dimensiones se requiere una elevada simetría axial de las gotas. Este método junto con el *Pendant Drop* (método que sirve para determinar la tensión superficial del líquido de contacto), corresponden a las dos principales aplicaciones de esta técnica.

Las fuerzas de contorno que incluyen las superficies, que conducen a formas esféricas, y las gravitacionales, que actúan en el sentido de alargar la gota, dictan la morfología de la interfaz, gobernada por la ecuación de Laplace de la capilaridad conocida también por ecuación de Young-Laplace, que determina el equilibrio mecánico de una superficie curva que separa dos fases.

$$\Delta P = P_l - P_v = \gamma_{lv} \times \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Midiendo así la diferencia de presiones a través de la interface líquido-vapor. Siendo P_l y P_v las presiones en la banda donde está el líquido y donde está el vapor respectivamente, en la interficie. R_1 y R_2 los principales radios de curvatura de la interface.

La técnica ADSA-P permite determinar ángulos de contacto y tensiones interfaciales líquido fluido a partir del perfil de las gotas de líquido. De una forma aclaradora, esta técnica se basa en el ajuste de los perfiles experimentales de las gotas con los teóricos, proporcionados por la ecuación de Young-Laplace con las condiciones de contorno idóneas, como son la gravedad local y la diferencia de densidad entre las dos fases que conforman la interface. La mejor curva de ajuste se identifica buscando la mínima desviación entre los perfiles experimentales de las gotas, de los perfiles teóricos. Así, para un perfil experimental dado, de una gota de líquido, el programa permite buscar la curva teórica que minimiza las desviaciones de los puntos analizados, o en otras palabras, la curva que se ajusta más.

Dicha curva es la usada para calcular el ángulo de contacto y la tensión interfacial.

Este programa varia los parámetros de la ecuación teórica hasta encontrar la que presenta una menor desviación respecto a la experimental.

La figura muestra la comparación entre los puntos experimentales escogidos del perfil de la gota dispensada y la curva teórica obtenida a partir de la ecuación de

Laplace. Se calculan las respectivas desviaciones, d_i , de los puntos experimentales escogidos respecto a la curva teórica y minimiza dichas desviaciones. Como resultado se encuentran unas condiciones para la ecuación de Laplace que dan lugar a una curva teórica que no es más que el mejor ajuste buscado.

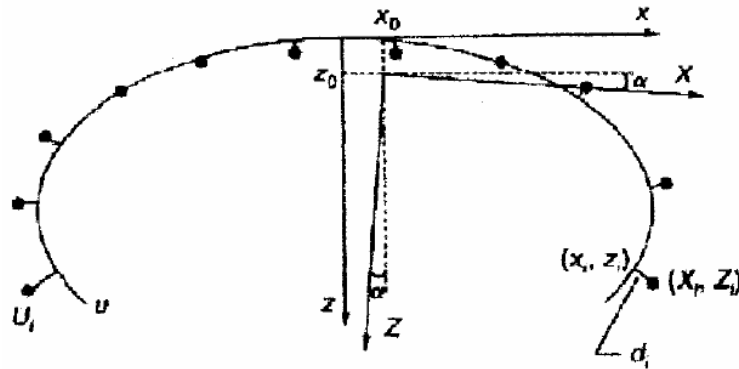


Ilustración 20. Comparación entre los puntos experimentales y la curva Laplaciana [19]

Mientras los ejes de coordenadas del perfil de la gota experimental y el de la curva teórica no coincidan, el punto (x_0, y_0) y el ángulo de rotación α se tendrán que tener en cuenta.

Estos, son parámetros de optimización. El programa crea una función que recoge todas las *desviaciones* y minimiza globalmente estas distancias, dando como resultado una determinada curva laplaciana, que corresponde al mejor ajuste obtenido. El parámetro θ , ángulo de contacto, se usa como parámetro de optimización.

La forma de equilibrio de una gota se puede determinar numéricamente con la solución de la ecuación de Laplace, juntamente con las idóneas condiciones de contorno. La técnica crea una función que representa la discrepancia entre la curva teórica calculada a partir de la ecuación de Laplace y el perfil real de la gota, la minimiza y da como resultado una curva laplaciana.

Para un perfil experimental de una gota, la curva teórica que minimiza la función objetivo se usa para calcular θ y γ .

CAPITULO III. ESTUDIOS Y EVOLUCION DE LA TENSION SUPERFICIAL.

3. AVANCES.

Después de analizar los métodos que se emplean para la medición de la tensión superficial, es necesario investigar cada uno de los estudios y avances que existen en relación a la tensión superficial con diversos factores.

Mariano Paganelli realizó un estudio de la medición de la tensión superficial a altas temperaturas sobre muestras de vidrio, a través del DROP ANALYSIS.

El llega a afirmar que la medición de la tensión superficial sobre vidrio a altas temperaturas causa siempre problemas, debido a las dificultades inherentes de la medición. La tensión superficial no puede medirse directamente sino que necesita ser computada matemáticamente a partir de la medición de otras propiedades físicas.

Métodos como la escala de torsión con el anillo de platino, o el del peso de la gota, que se usan a menudo para medir la tensión superficial sobre líquidos a temperatura ambiente, son bastante difíciles de aplicar sobre vidrio fundido. En la industria vítrea, la medición de la tensión superficial se realiza comúnmente usando el método del cable pendiente calentado con un gancho de platino.

Este método es bastante simple y económico, pero carece del control de la temperatura, además de que es imposible realizar la prueba a más de una o a distintas temperaturas. .

En la actualidad existen varios instrumentos disponibles en el mercado que realizan la medición de la tensión superficial que se basan en este principio, pero todos ellos trabajan solamente por debajo de unos pocos centenares de grados.

Expert System Solutions ha creado recientemente la medición de la tensión superficial basada en el análisis de la forma de la gota aplicando la ecuación de Young-Laplace sobre su microscopio térmico. Este nuevo instrumento hace posible el registro de mediciones confiables de tensión superficial hasta los 1600 °C.



Ilustración 21. El microscopio térmico MISURA EXPERT SYSTEM SOLUTIONS

Para obtener este resultado, se desarrolló un nuevo algoritmo, basado en los conceptos matemáticos siguientes. Dentro de una gota de líquido, la presión en la superficie cóncava del lado interior es más alta que la presión de la superficie convexa exterior, y la diferencia de las dos presiones depende de la tensión interfaz y del radio de curvatura de la superficie. En el caso de una gota que yace sobre una superficie (gota sésil), la superficie no es esférica pero tiene una simetría axial y en cada punto la curvatura se puede describir usando dos radios de curvatura sobre planos normales.

Así, la ecuación Young-Laplace adquiere la siguiente forma:

$$p_1 - p_2 = \sigma \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Los primeros intentos se hicieron hace muchos años, utilizando esta ecuación para derivar el valor de γ a partir de imágenes tomadas con una cámara usando una simple tabla de conversión que expresa a γ como una función del diámetro máximo de la gota y el diámetro a la altura h igual a ese diámetro. Este método, conocido como la "Tabla Fordham" dio resultados imprecisos, debido a que el perfil de la gota se medía solamente en un punto. Como resultado final, el método de medición de la tensión superficial a partir del perfil de una gota obtuvo una mala reputación.

Recientemente, gracias a la velocidad extrema computacional de los procesadores de nueva generación, es posible computar exactamente el perfil completo de la gota, resolviendo la ecuación Young Laplace en todos y cada uno de los puntos del perfil. Las ecuaciones necesarias para la solución del problema se desarrollaron paso a paso por varios científicos, en el amplio arco de tiempo de los dos últimos siglos. El método que aplicamos se basa en la ecuación diferencial Bashforth-Adams, de la que se desconoce, desafortunadamente, su solución analítica.

A la solución se llega aplicando la integral numérica Runge-Kutta y luego, minimizando la desviación media al cuadrado, entre el perfil de la gota calculado y el real, hasta que el error sea inferior a 10^{-4} .

Después de haber resuelto el problema matemático, hay que enfrentar otro problema: hasta aquí podemos resolver la ecuación para todos los puntos del perfil de la gota, pero la diferencial de presión sobre las dos superficies de cada punto de la gota depende de la densidad de los dos fluidos. El fluido alrededor de la gota es aire, y la densidad del aire a cualquier temperatura dada se puede encontrar en la literatura. Usamos una función que interpola mediciones reales de 100 K a 1600 K con una desviación media al cuadrado de $3 \cdot 10^{-5}$, y no buscamos más allá de esos valores.

El problema es conocer la densidad del vidrio fundido a la temperatura de cada medición. A simple vista esto parece, nuevamente, un problema sin solución. Hemos encontrado una solución con una bastante buena aproximación usando los datos del dilatómetro óptico.

Una de las ventajas de medir el comportamiento termo-mecánico de un objeto de vidrio utilizando un dilatómetro sin contacto, es el hecho que se puede obtener una medición aceptable de la expansión del vidrio a lo largo de una vasta gama de temperaturas superior a la temperatura de transición del vidrio (T_g). Más allá de la T_g el vidrio entra en el estado de líquido sobrefundido y luego pasa al estado líquido. El aumento tan alto de la inclinación de la curva después de la T_g se debe al grado de libertad más elevado de las unidades estructurales, y ésta es en realidad la capacidad de expansión del vidrio fundido. La curva medida con el dilatómetro óptico alcanza el punto de máximo y el comienzo del descenso. Como la medición se lleva a cabo sin contacto con el objeto, no se le aplica ninguna fuerza externa al vidrio. El objeto de vidrio se acorta porque la tensión superficial del vidrio está empujando los bordes del objeto, redondeándolos. El volumen del vidrio está todavía aumentando, pero la longitud de la muestra se está acortando porque está volviéndose redonda.

Para obtener una estima de la densidad a altas temperaturas, derivamos la ecuación de la línea pasando a través de dos puntos en el estrecho segmento de la curva superior a la T_g . Esta línea se extrapola hasta la temperatura deseada para saber el valor del aumento en volumen. Como la masa de la muestra no se carga debido al aumento de temperatura, es entonces posible saber la densidad a la temperatura dada.

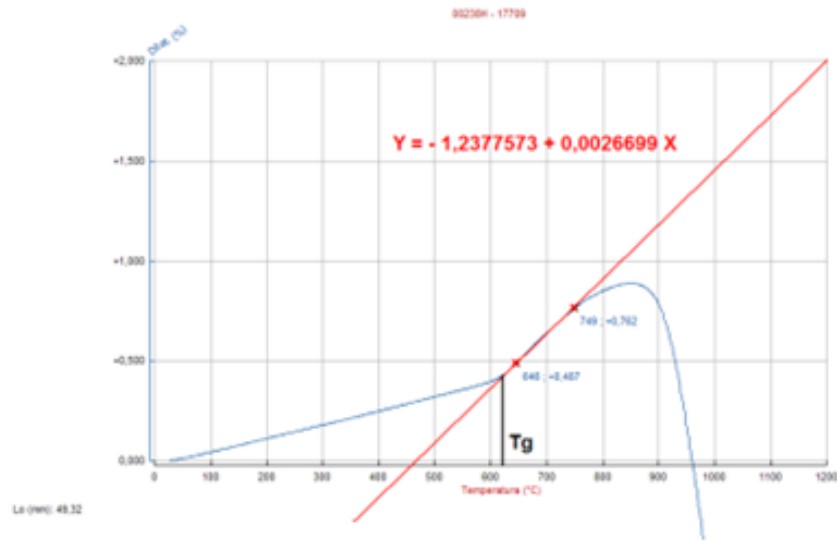


Ilustración 22. Extrapolación de la expansión de un vidrio líquido superando la temperatura de transición.

En el ejemplo ilustrado, la expansión extrapolada a 1200 °C es de 1,9661 %.

La densidad del vidrio a temperatura ambiente era de 2243 Kg/m³ y después de la densidad extrapolada a 1200 °C será de 2115,73 Kg/m³. Por supuesto, si el usuario dispone de una estima mejor de la densidad a la temperatura de la medición, puede ingresar el valor real.

La medición real de la tensión superficial se realiza analizando el perfil de la gota, y el microscopio térmico MISURA 3 es el instrumento ideal para un horno a altas temperaturas.

La primera ilustración es una imagen de una gota de vidrio de cal sodada a 1100 °C sobre una lámina de platino. La gota de vidrio es transparente como el cristal y el foco de luz en el centro se debe al efecto lente del vidrio. La tensión superficial calculada es de 346 x 10⁻³ N/m, por lo que concuerda con los datos registrados.

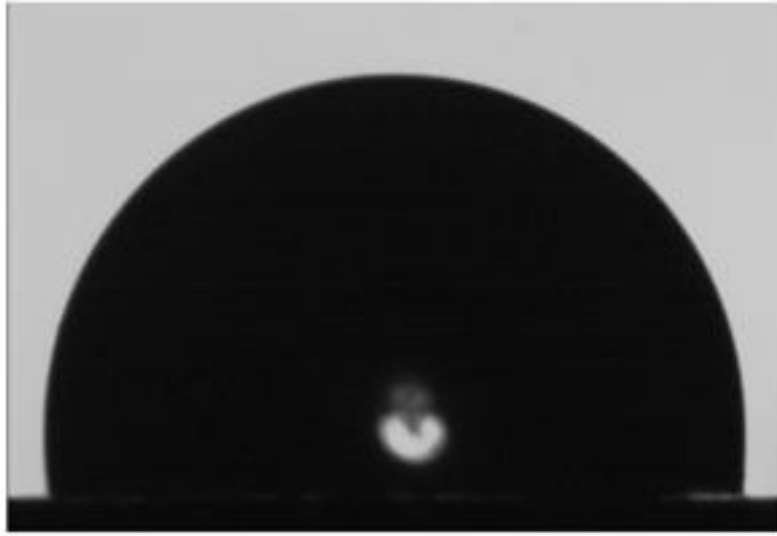


Ilustración 23: Imagen de una gota transparente de vidrio de cal sodada fundido a 1100°C, que se obtiene con el microscopio térmico.

El segundo ejemplo es una gota de aleación fundida inoxidable (63% lata, 37% plomo) en una atmósfera de nitrógeno a 200°C. En este caso la tensión superficial calculada es de $482 \times 10^{-3} \text{N/m}$, la cual, nuevamente coincide con los datos registrados.

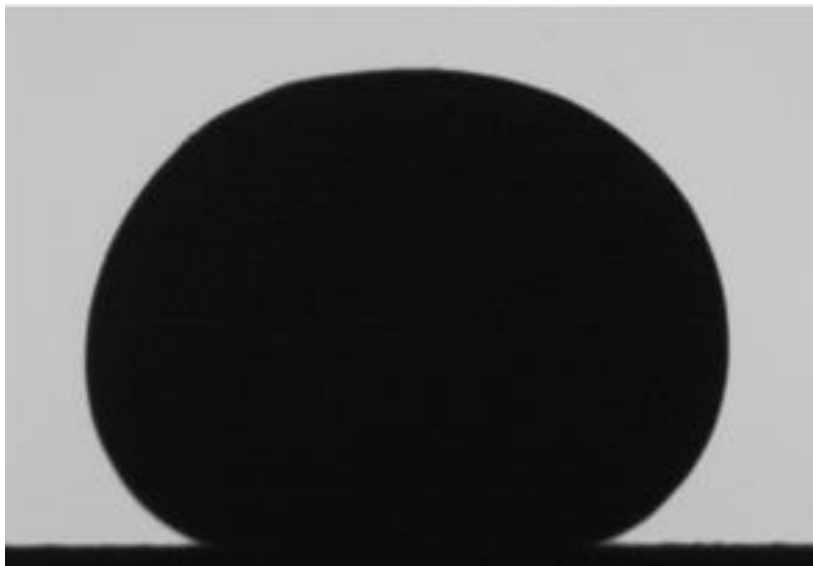


Ilustración 24: Imagen de una gota de aleación fundida sobre un plato de aluminio, en una atmosfera de nitrógeno obtenida con el microscopio térmico.

La medición es bastante fácil y veloz, pero requiere una buena gota sésil. Una de las suposiciones de la medición es el hecho que la gota tenga una simetría axial. Si la imagen de la gota se ve asimétrica, no vale la pena seguir con la medición. Es mejor comenzar una nueva prueba desde el principio, prestando la debida atención en usar un objeto de soporte bien limpio y una sustancia de muestra muy bien preparada.

Tras hablar de todo esto Mariano Paganelli llegó a las siguientes conclusiones: la disponibilidad de un instrumento nuevo, que facilita y hace posible la medición de la tensión superficial sobre material fundido a altas temperaturas, ofrece a la comunidad científica un nuevo instrumento de investigación. El microscopio térmico es una herramienta de laboratorio muy ruda y no requiere de una gran experiencia para poder utilizarlo. La incorporación de esta característica amplía el campo de utilización de esta vieja técnica de laboratorio.

Realizan un estudio para determinar la tensión superficial de la pulpa de los tomates y de la papaya a diferentes concentraciones de sólidos totales usando el método de empuje máximo sobre un anillo, en una balanza de torsión. Los resultados mostraron una relación inversa entre la concentración y la tensión superficial dentro de los límites del estudio. Se concluyó que el método de Du Noüy es adecuado.

Se concluyó que la relación existente entre la tensión superficial y el contenido de sólido se considera lineal dentro de los límites del estudio; de acuerdo a los límites de correlación obtenidos, la linealidad aumenta cuando se considera el valor de la tensión superficial del agua, la cual tiene un papel importante en la formación de las disoluciones de los componentes químicos de los alimentos. En vista de que el valor de la tensión superficial del agua queda incluido con un margen razonable de exactitud en el conjunto de puntos que por ajuste generan una recta, puede emplearse la ecuación correspondiente con fines de interpolación desde 0 hasta 25% de sólidos totales.

Finalmente queda comprobado que la utilización del empuje máximo sobre un anillo, utilizando el tensiómetro interfaseal de Du Noüy es adecuado para ciertos fluidos biológicos, en particular alimentos, los cuales son sistemas difásicos heterogéneos.

CAPITULO IV. PROCESO EXPERIMENTAL

En nuestro trabajo emplearemos el método ADSA mediante el cual mediremos la tensión superficial en función de la humedad relativa, teniendo en cuenta parámetros como la densidad del líquido, el volumen de gota y la temperatura. A pesar de todos los estudios realizados con anterioridad, algunos de los cuales hemos mencionado, no existe ningún estudio realizado de la tensión superficial en relación a la humedad, por tanto nuestro cometido será indagar en la relación existente entre ambos parámetros para poder obtener algunas conclusiones al respecto.

Para ello comenzaremos describiendo el proceso de medición que vamos a emplear y los elementos que en este intervienen.

4. Elementos empleados para realizar la medición de tensión superficial en relación a la humedad y a la temperatura:

4.1 Sistema de medición inicial:

Mediante el método ADSA llevaremos a cabo una serie de pruebas. Para ello realizaremos una captura de imágenes de alta calidad que describen el perfil de la gota, teniendo en cuenta que lo que pretendemos es evaluar la tensión superficial con volúmenes de gota constantes. Dichas imágenes serán transmitidas un ordenador que ajusta las series laplacianas conocidas con valores de tensión superficial igualmente conocidos. Al tiempo se tomarán muestras de las temperaturas en el transcurso de la medición siendo estas controladas para mantenerlas en un intervalo lo más constante posible, y se tomará mediante otro dispositivo los valores controlados de la humedad. De esta manera estableceremos la relación existente a una determinada temperatura de la relación tensión superficial- humedad.

El sistema configurado es el siguiente:

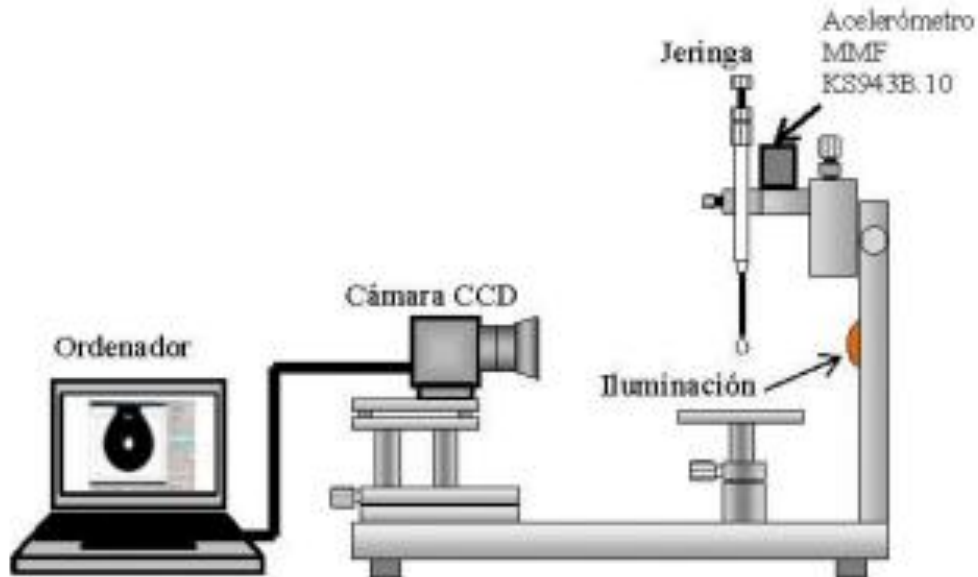


Ilustración 25: Elementos empleados en el proceso experimental. [21]

Como vemos nuestro sistema es similar al descrito en la medición de la tensión según los métodos de la gota colgada o pendiente. El método descrito de la gota yacente incorpora el ángulo de contacto de la gota, empleando el método ADSA, descrito con anterioridad, este método será empleado en nuestro análisis experimental.

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA

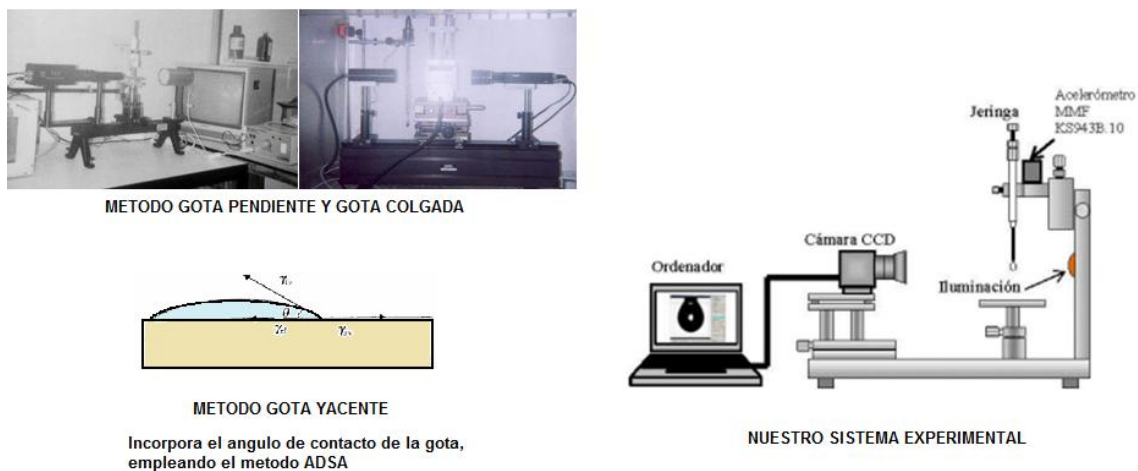


Ilustración 26: Comparación de nuestro método experimental con los descritos anteriores.

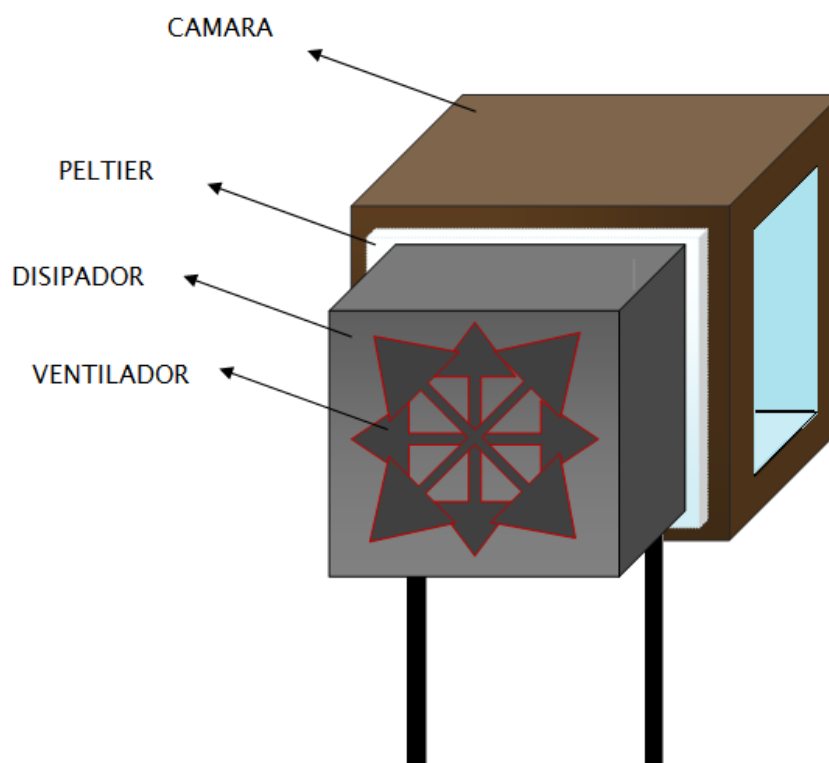


Ilustración 27: Componentes del sistema de aislamiento inicial

Nuestro proceso experimental comienza empleando un único ventilador, un peltier y un aislamiento en el que detectamos tras la medición, no demasiada precisión, puesto que no logramos alcanzar valores de humedad relativa que se aproximen al 100% y las temperaturas no se alejan demasiado de la existente en el ambiente. Con estas conclusiones y tras comprobar el comportamiento con la tensión superficial y no percibir resultados muy satisfactorios que nos indiquen el comportamiento de la tensión superficial en relación a la humedad relativa, consideramos mejorar nuestro sistema.

4.2 Sistema de medición final:

El montaje mejorado contara de dos ventiladores en lugar de uno que teníamos inicialmente, dos peltier para mejorar el enfriamiento del sistema así como una mejora considerable en el aislamiento en la microcámara. Esto se añade al resto de componentes del montaje inicial para comenzar nuestro proceso experimental.

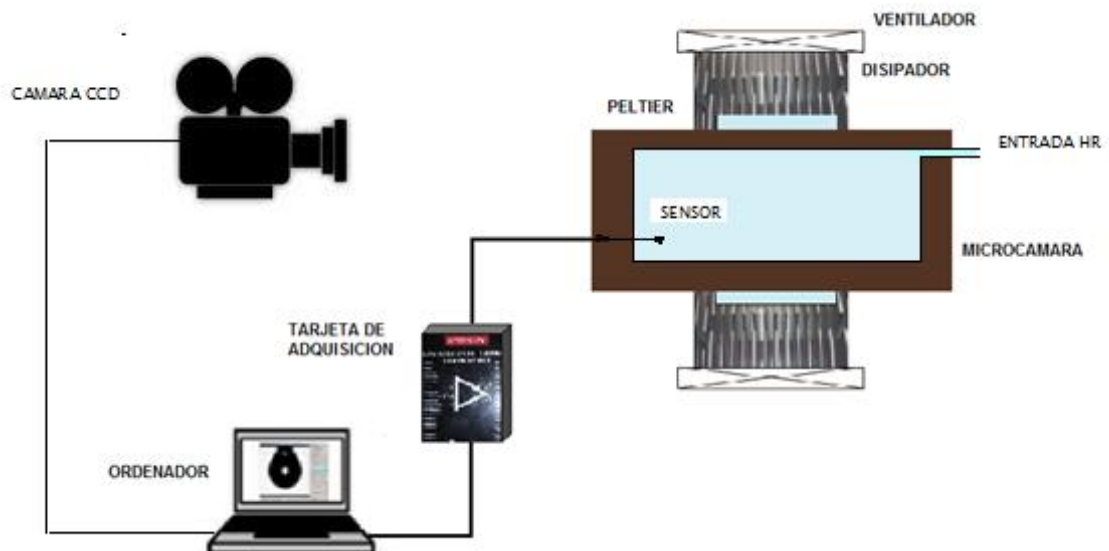


Ilustración 28: Sistema de aislamiento de la gota

4.3 DISIPADOR DE CALOR Y FUENTE.

Un disipador es un instrumento que se utiliza para bajar la temperatura de algunos componentes electrónicos.

Su funcionamiento se basa en la segunda ley de la termodinámica, transfiriendo el calor de la parte caliente que se desea disipar al aire. Este proceso se propicia aumentando la superficie de contacto con el aire permitiendo una eliminación más rápida del calor excedente.

Un disipador extrae el calor del componente que refrigera y lo evacúa al exterior, normalmente al aire. Para ello se necesita una buena conducción de calor a través del mismo, por lo que se suelen fabricar de aluminio por su ligereza, pero también de cobre, mejor conductor del calor, pero más pesado.

En el caso habitual, el disipador está en íntimo contacto con el dispositivo que refrigera, empleando grasa de silicona o láminas termoconductoras para asegurar una baja resistencia térmica entre el componente y el disipador. Para evacuar el calor al ambiente, se aumenta la superficie del disipador mediante aletas o varillas, cuyo diseño varía dependiendo de si existe circulación forzada del aire o sólo convección natural.

El acabado suele ser negro para mejorar la radiación, pero muchas veces se deja el metal expuesto y únicamente se protege de la corrosión. El acabado no debe aumentar la resistencia térmica.

En los dispositivos electrónicos se suelen usar para evitar un aumento de la temperatura en algunos componentes. Por ejemplo, se emplea sobre transistores en circuitos de potencia para evitar que las altas temperaturas puedan llegar a quemarlos.

En los ordenadores su uso es intensivo, como por ejemplo en algunas tarjetas gráficas o en el microprocesador para evacuar el calor procedente de la conmutación de los transistores. Sin embargo, en ocasiones el calor generado en los componentes es demasiado elevado como para poder emplear disipadores de dimensiones razonables, llegando a ser necesarias emplear otras formas de refrigeración como la refrigeración líquida.

Las figuras mostradas a continuación pertenecen a los disipadores empleados. En nuestro caso usaremos dos disipadores con la finalidad de evacuar el calor de los peltier a mayor velocidad posible.

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA

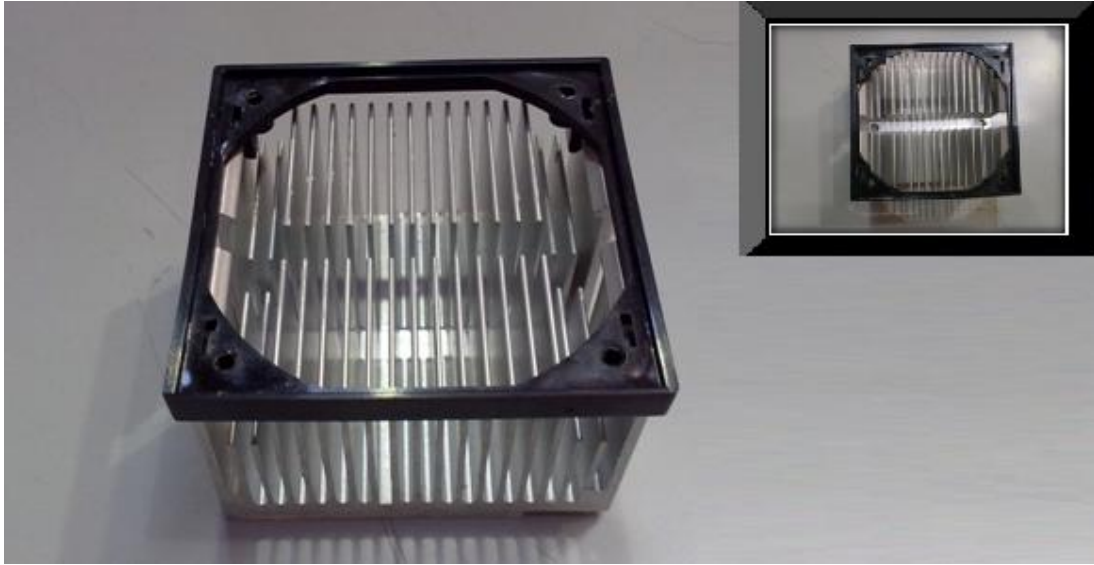


Ilustración 29: disipador de calor.

Para poder ventilar el ambiente mediante los disipadores será necesario realizarlo con ayuda de una fuentes de energía, así comenzamos usando dos fuentes de 5 voltios conectados a unos ventiladores encargados de refrigerar el sistema.



Ilustración 30: elementos empleados en los casos de pruebas.



Ilustración 31: ventilador

El PID KS40 PMA conectado a otra fuente de 5 voltios y a un relé, se encargara del control del circuito en función de la variación de la temperatura. Para posteriormente accionar el circuito que pondrá en marcha dos peltier encargados de enfriar la gota de agua.

4.4 RELE:

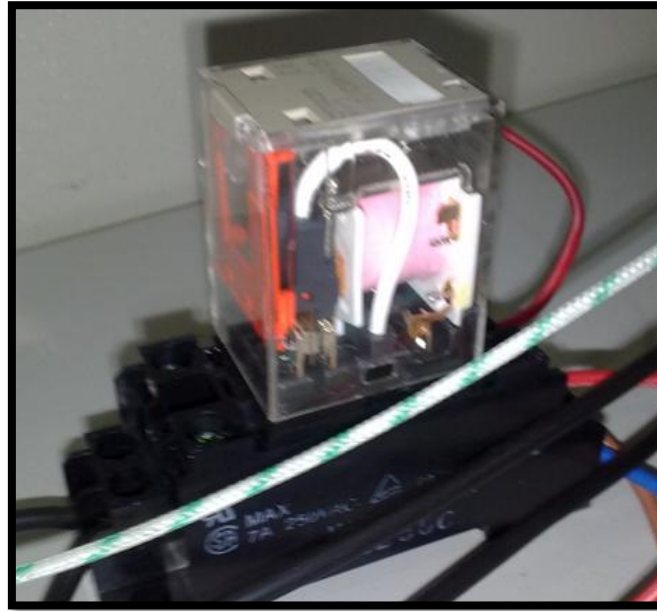


Ilustración 32: Relé empleado

El comportamiento de un relé como se muestra anteriormente es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico. Como tal se emplearon en telegrafía, haciendo la función de repetidores que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea.

Existen multitud de tipos distintos de relés, dependiendo del número de contactos, de la intensidad admisible por los mismos, tipo de corriente de accionamiento, tiempo de activación y desactivación, etc. Cuando controlan grandes potencias se les llama contactores en lugar de relés.

Relés electromecánicos [24].

- a) **Relés de tipo armadura:** pese a ser los más antiguos siguen siendo lo más utilizados en multitud de aplicaciones. Un electroimán provoca la basculación de una armadura al ser excitado, cerrando o abriendo los contactos dependiendo de si es NA o NC.
- b) **Relés de núcleo móvil:** a diferencia del anterior modelo estos están formados por un émbolo en lugar de una armadura. Debido su mayor fuerza de atracción, se utiliza un solenoide para cerrar sus contactos. Es muy utilizado cuando hay que controlar altas corrientes.
- c) **Relé tipo reed o de lengüeta:** están constituidos por una ampolla de vidrio, con contactos en su interior, montados sobre delgadas láminas de metal. Estos contactos conmutan por la excitación de una bobina, que se encuentra alrededor de la mencionada ampolla.
- d) **Relés polarizados o biestables:** se componen de una pequeña armadura, solidaria a un imán permanente. El extremo inferior gira dentro de los polos de un electroimán, mientras que el otro lleva una cabeza de contacto. Al excitar el electroimán, se mueve la armadura y provoca el cierre de los contactos. Si se polariza al revés, el giro será en sentido contrario, abriendo los contactos ó cerrando otro circuito.
- e) **Relé de estado sólido.** Se llama relé de estado sólido a un circuito híbrido, normalmente compuesto por un optoacoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un dispositivo similar que actúa de interruptor de potencia. Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico; este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico, además de poder conmutar altos amperajes que en el caso del relé electromecánico destruirían en poco tiempo los contactos. Estos relés permiten una velocidad de conmutación muy superior a la de los relés electromecánicos.
- f) **Relé de corriente alterna.** Cuando se excita la bobina de un relé con corriente alterna, el flujo magnético en el circuito magnético, también es alterno, produciendo una fuerza pulsante, con frecuencia doble, sobre los contactos. Es decir, los contactos de un relé conectado a la red, en algunos lugares, como varios países de Europa y Latinoamérica oscilarán a 50 Hz y

en otros, como en Estados Unidos lo harán a 60 Hz. Este hecho se aprovecha en algunos timbres y zumbadores, como un activador a distancia. En un relé de corriente alterna se modifica la resonancia de los contactos para que no oscilen.

- g) **Relé de láminas.** Este tipo de relé se utilizaba para discriminar distintas frecuencias. Consiste en un electroimán excitado con la corriente alterna de entrada que atrae varias varillas sintonizadas para resonar a sendas frecuencias de interés. La varilla que resuena acciona su contacto; las demás, no. El desarrollo de la microelectrónica y los PLL integrados ha relegado estos componentes al olvido. Los relés de láminas se utilizaron en aeromodelismo y otros sistemas de telecontrol. La gran ventaja de los relés electromagnéticos es la completa separación eléctrica entre la corriente de accionamiento, la que circula por la bobina del electroimán, y los circuitos controlados por los contactos, lo que hace que se puedan manejar altos voltajes o elevadas potencias con pequeñas tensiones de control. También ofrecen la posibilidad de control de un dispositivo a distancia mediante el uso de pequeñas señales de control. En el caso presentado podemos ver un grupo de relés en bases interface que son controlado por módulos digitales programables que permiten crear funciones de temporización y contador como si de un mini PLC se tratase. Con estos modernos sistemas los relés pueden actuar de forma programada e independiente lo que supone grandes ventajas en su aplicación aumentando su uso en aplicaciones sin necesidad de utilizar controles como PLC's u otros medios para comandarlos

4.5 TARJETA DE ADQUISICIÓN: KEITHLEY

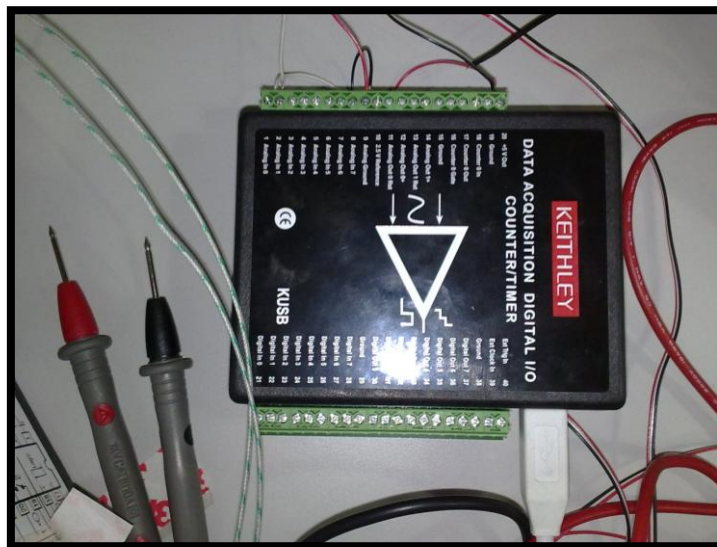


Ilustración 33: TARJETA DE ADQUISICIÓN: KEITHLEY

La adquisición de datos o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en un ordenador. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).

Definiciones:

- a) **Dato:** Representación simbólica (numérica, alfabética...), atributo o característica de un valor. No tiene sentido en sí mismo, pero convenientemente tratado (procesado) se puede utilizar en la relación de cálculos o toma de decisiones.
- b) **Adquisición:** Recogida de un conjunto de variables físicas, conversión en voltaje y digitalización de manera que se puedan procesar en un ordenador.

- c) **Sistema:** Conjunto organizado de dispositivos que interactúan entre sí ofreciendo prestaciones más completas y de más alto nivel. Una vez que las señales eléctricas se transformaron en digitales, se envían a través del bus de datos a la memoria del PC. Una vez los datos están en memoria pueden procesarse con una aplicación adecuada, archivarlas en el disco duro, visualizarlas en la pantalla, etc...
- d) **Bit de resolución:** Número de bits que el convertidor analógico a digital (ADC) utiliza para representar una señal.
- e) **Rango:** Valores máximo y mínimo entre los que el sensor, instrumento o dispositivo funcionan bajo unas especificaciones.
- f) **Teorema de Nyquist:** Al muestrear una señal, la frecuencia de muestreo debe ser mayor que dos veces el ancho de banda de la señal de entrada, para poder reconstruir la señal original de forma exacta a partir de sus muestras. En caso contrario, aparecerá el fenómeno del aliasing que se produce al infra-muestrear. Si la señal sufre aliasing, es imposible recuperar el original.

Velocidad de muestreo recomendada:

–2*frecuencia mayor (medida de frecuencia)

–10*frecuencia mayor (detalle de la forma de onda)

Los componentes de los sistemas de adquisición de datos, poseen sensores adecuados que convierten cualquier parámetro de medición de una señal eléctrica, que se adquiere por el hardware de adquisición de datos. Los datos adquiridos se visualizan, analizan, y almacenan en un ordenador, ya sea utilizando el proveedor de software suministrado u otro software. Los controles y visualizaciones se pueden desarrollar utilizando varios lenguajes de programación de propósito general como Visual BASIC, C++, Fortran, Java, Lisp, Pascal. Los lenguajes especializados de programación utilizados para la adquisición de datos incluyen EPICS, utilizada en la construcción de grandes sistemas de adquisición de datos, LabVIEW, que ofrece un entorno gráfico de programación optimizado para la adquisición de datos, y MATLAB. Estos entornos de adquisición proporcionan un lenguaje de programación además de bibliotecas y herramientas para la adquisición de datos y posterior análisis.

De la misma manera que se toma una señal eléctrica y se transforma en una digital para enviarla al ordenador, se puede también tomar una señal digital o binaria y convertirla en una eléctrica. En este caso el elemento que hace la

transformación es una tarjeta o módulo de Adquisición de Datos de salida, o tarjeta de control. La señal dentro de la memoria del PC la genera un programa adecuado a las aplicaciones que quiere el usuario y, luego de procesarla, es recibida por mecanismos que ejecutan movimientos mecánicos, a través de servomecanismos, que también son del tipo transductores.

Un sistema típico de adquisición utiliza sensores, transductores, amplificadores, convertidores analógico - digital (A/D) y digital - analógico (D/A), para procesar información acerca de un sistema físico de forma digitalizada.

La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico o la propiedad física de un objeto (objeto de la investigación) que se desea medir. Esta propiedad física o fenómeno podría ser el cambio de temperatura o la temperatura de una habitación, la intensidad o intensidad del cambio de una fuente de luz, la presión dentro de una cámara, la fuerza aplicada a un objeto, o muchas otras cosas. Un eficaz sistema de adquisición de datos pueden medir todos estos diferentes propiedades o fenómenos.

Un sensor es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica correspondiente medible, tal como tensión, corriente, el cambio en los valores de resistencia o condensador, etc. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores para convertir las señales de los fenómenos físicos mensurables en la adquisición de datos por hardware. **Transductores** son sinónimo de sensores en sistemas de **DAQ**. Hay transductores específicos para diferentes aplicaciones, como la medición de la temperatura, la presión, o flujo de fluidos. **DAQ** también despliega diversas técnicas de acondicionamiento de Señales para modificar adecuadamente diferentes señales eléctricas en tensión, que luego pueden ser digitalizados usando **CED**.

Las señales pueden ser digitales (también llamada señales de la lógica) o analógicas en función del transductor utilizado.

El acondicionamiento de señales suele ser necesario si la señal desde el transductor no es adecuado para la DAQ hardware que se utiliza. La señal puede ser amplificada o desamplificada, o puede requerir de filtrado, o un cierre patronal, en el amplificador se incluye para realizar demodulación. Varios otros ejemplos de acondicionamiento de señales podría ser el puente de conclusión, la prestación actual de tensión o excitación al sensor, el aislamiento,

linealización, etc. Este pretratamiento de la señal normalmente lo realiza un pequeño módulo acoplado al transductor.

- g) **DAQ hardware** son por lo general las interfaces entre la señal y un PC. Podría ser en forma de módulos que pueden ser conectados a la computadora de los puertos (paralelo, serie, USB, etc...) o ranuras de las tarjetas conectadas a (PCI, ISA) en la placa madre. Por lo general, el espacio en la parte posterior de una tarjeta PCI es demasiado pequeño para todas las conexiones necesarias, de modo que una ruptura de caja externa es obligatorio. El cable entre este recuadro y el PC es cara debido a los numerosos cables y el blindaje necesario y porque es exótico. Las tarjetas DAQ a menudo contienen múltiples componentes (multiplexores, ADC, DAC, TTL-IO, temporizadores de alta velocidad, memoria RAM). Estos son accesibles a través de un bus por un micro controlador, que puede ejecutar pequeños programas. El controlador es más flexible que una unidad lógica dura cableada, pero más barato que una CPU de modo que es correcto para bloquear con simples bucles de preguntas.
- h) **Driver software** normalmente viene con el hardware DAQ o de otros proveedores, y permite que el sistema operativo pueda reconocer el hardware DAQ y dar así a los programas acceso a las señales de lectura por el hardware DAQ. Un buen conductor ofrece un alto y bajo nivel de acceso.
- i) **Ejemplos de Sistemas de Adquisición y control:** · DAQ para recoger datos (datalogger) medioambientales (energías renovables e ingeniería verde). · DAQ para audio y vibraciones (mantenimiento, test). · DAQ + control de movimiento (corte con láser). · DAQ + control de movimiento+ visión artificial (robots modernos).

4.6 PELTIER:

Al descubrir su efecto, podemos considerarlo como propiedad termoeléctrica descubierta en 1834 por Jean Peltier, trece años después del descubrimiento del mismo fenómeno, de forma independiente, por Seebeck.

El efecto Peltier hace referencia a la creación de una diferencia de temperatura debida a un voltaje eléctrico. Sucede cuando una corriente se hace pasar por dos metales o semiconductores conectados por dos “junturas de Peltier”.

La corriente propicia una transferencia de calor de una juntura a la otra: una se enfría en tanto que otra se calienta.

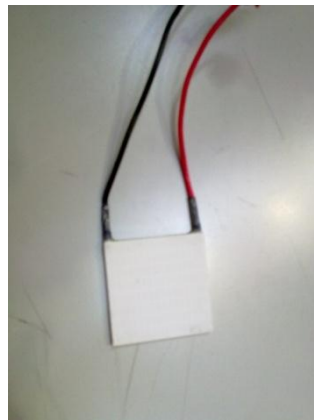
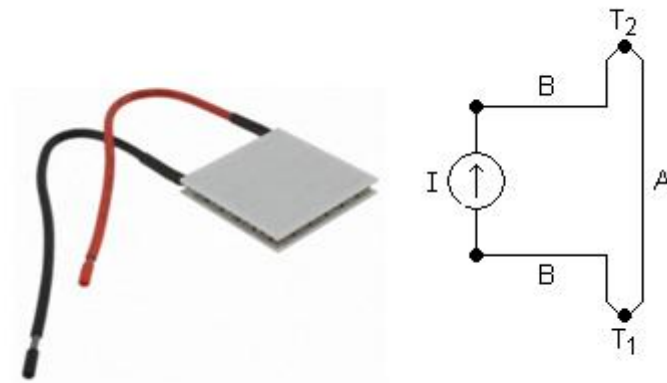


Ilustración 34: Peltier. [23]

Una manera para entender cómo es que este efecto enfría una juntura es notar que cuando los electrones fluyen de una región de alta densidad a una de baja densidad, se expanden (de la manera en que lo hace un gas ideal) y se enfría la región.

Cuando una corriente I se hace pasar por el circuito, el calor se genera en la juntura superior (T_2) y es absorbido en la juntura inferior (T_1). A y B indican los materiales.

Consiste en la creación de una diferencia térmica a partir de una diferencia de potencial eléctrico. Ocurre cuando una corriente pasa a través de dos metales diferentes o semiconductores (tipo-n y tipo-p) que están conectados entre sí en dos soldaduras (uniones Peltier). La corriente produce una transferencia de calor desde una unión, que se enfría, hasta la otra, que se calienta. El efecto es utilizado para la refrigeración termoeléctrica.

Cuando se hace circular una corriente I a través del circuito, se desprende calor de la unión superior y es absorbido por la unión inferior. El calor de Peltier absorbido por la unión inferior por unidad de tiempo, Q es igual a:

$$Q = \pi_{AB} \cdot I = (\pi_B - \pi_A)I$$

Donde Π es el coeficiente de Peltier Π_{AB} de la termopareja completa, y Π_A y Π_B son los coeficientes de cada material. El silicio tipo-p tiene un coeficiente Peltier positivo a temperaturas inferiores a 550 K y el silicio tipo-n tiene un coeficiente Peltier negativo.

Los conductores intentan volver al equilibrio electrónico que existía antes de aplicar la corriente. Para ello absorben la energía de un foco y la desprenden en el otro. Las parejas individuales pueden ser conectadas en serie para incrementar el efecto.

La dirección de la transferencia de calor es controlada por la polaridad de la corriente. Al invertir la polaridad se cambia la dirección de la transferencia y, como consecuencia, la unión donde se desprendía calor lo absorberá y donde se absorbía lo desprenderá.

Este efecto realiza la acción inversa al efecto Seebeck, propiedad termoeléctrica descubierta en 1821 por el físico alemán Thomas Johann Seebeck inversa al efecto Peltier. Este efecto provoca la conversión de una diferencia de temperatura en electricidad. Se crea un voltaje en presencia de una diferencia de temperatura entre dos metales o semiconductores diferentes. Una diferencia de

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA

temperaturas T1 y T2 en las juntas entre los metales A y B induce una diferencia de potencial V.

Cabe reseñar que fue el primer efecto termoelectrico descubierto: el efecto Peltier lo descubriría Jean Peltier en 1834, y William Thomson -Lord Kelvin- haría lo propio con el efecto Thomson en 1851.

CP SERIES SPECIFICATIONS

Number	(Amps)	Qmax ^(W)	Vmax (Volts)	ΔTmax (°C)	N	A	B	C	D ^(°)
CP0.8-7-06L	2.1	1.0	0.85	67	7	6	6	6	3.4
CP0.8-17-06L	2.1	2.4	2.06	67	17	9	9	9	3.4
CP0.8-31-06L	2.1	4.4	3.75	67	31	12	12	12	3.4
CP0.8-63-06L	2.1	9.0	7.62	67	63	12	25	12	3.4
CP0.8-71-06L	2.1	10.1	8.60	67	71	18	18	18	3.4
CP0.8-127-06L	2.1	18.1	15.40	67	127	25	25	25	3.4
± CP0.8-254-06L	2.1/4.2	36.2	30.8/15.4	67	254	50	25	50	3.4
CP0.8-127-05L	2.6	22.4	15.40	67	127	25	25	25	3.1
± CP0.8-254-05L	2.6/5.2	44.8	30.8/15.4	67	254	50	25	50	3.1
CP1.0-7-08L	2.5	1.2	0.85	67	7	8	8	8	4.0
CP1.0-17-08L	2.5	2.9	2.06	67	17	12	12	12	4.0
CP1.0-31-08L	2.5	5.3	3.75	67	31	15	15	15	4.0
CP1.0-63-08L	2.5	10.6	7.62	67	63	15	30	15	4.0
CP1.0-71-08L	2.5	12.0	8.60	67	71	23	23	23	4.0
CP1.0-127-08L	2.5	21.4	15.40	67	127	30	30	30	4.0
± CP1.0-254-08L	2.5/5.0	42.8	30.8/15.4	67	254	60	30	60	4.0
CP1.0-7-06L	3.0	1.4	0.85	67	7	8	8	8	3.6
CP1.0-17-06L	3.0	3.4	2.06	67	17	12	12	12	3.6
CP1.0-31-06L	3.0	6.3	3.75	67	31	15	15	15	3.6
CP1.0-63-06L	3.0	12.7	7.62	67	63	15	30	15	3.6
CP1.0-71-06L	3.0	14.4	8.60	67	71	23	23	23	3.6
CP1.0-127-06L	3.0	25.7	15.40	67	127	30	30	30	3.6
± CP1.0-254-06L	3.0/6.0	51.4	30.8/15.4	67	254	60	30	60	3.6
CP1.0-7-05L	3.9	1.8	0.85	67	7	8	8	8	3.2
CP1.0-17-05L	3.9	4.5	2.06	67	17	12	12	12	3.2
CP1.0-31-05L	3.9	8.2	3.75	67	31	15	15	15	3.2
CP1.0-63-05L	3.9	16.6	7.62	67	63	15	30	15	3.2
CP1.0-71-05L	3.9	18.7	8.60	67	71	23	23	23	3.2
CP1.0-127-05L	3.9	33.4	15.40	67	127	30	30	30	3.2
± CP1.0-254-05L	3.9/7.8	66.8	30.8/15.4	67	254	60	30	60	3.2
CP1.4-11-10L	3.9	2.9	1.33	68	11	10	15	10	4.7
CP1.4-17-10L	3.9	4.5	2.06	68	17	15	15	15	4.7
CP1.4-31-10L	3.9	8.2	3.75	68	31	20	20	20	4.7
CP1.4-35-10L	3.9	9.2	4.24	68	35	15	30	15	4.7
CP1.4-51-10L	3.9	13.4	6.18	68	51	9.5	62	9.5	4.7
CP1.4-71-10L	3.9	18.7	8.60	68	71	30	30	30	4.7
CP1.4-127-10L	3.9	33.4	15.40	68	127	40	40	40	4.7
CP1.4-11-06L	6.0	4.4	1.33	67	11	10	15	10	3.8
CP1.4-17-06L	6.0	6.9	2.06	67	17	15	15	15	3.8
CP1.4-31-06L	6.0	12.5	3.75	67	31	20	20	20	3.8
CP1.4-35-06L	6.0	14.2	4.24	67	35	15	30	15	3.8
CP1.4-51-06L	6.0	20.6	6.18	67	51	9.5	62	9.5	3.8
CP1.4-71-06L	6.0	28.7	8.60	67	71	30	30	30	3.8
CP1.4-127-06L	6.0	51.4	15.40	67	127	40	40	40	3.8

Tabla 4: CP SERIES SPECIFICATIONS PELTIER

4.7 PID:

Un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación que se utiliza en sistemas de control industriales. Un controlador PID corrige el error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener calculándolo y luego sacando una acción correctora que puede ajustar al proceso acorde.

El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador, por ejemplo. Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado el cual el controlador llega al "set point", y el grado de oscilación del sistema. Nótese que el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo. Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.



Ilustración 35: PID KS40 PMA [22]

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

1. Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, entre otros).
2. Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
3. Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, entre otros).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el *punto actual* en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que son con corriente continua.

El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (HMI- Human Machine Interface), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador.

La señal resultante de la suma de estas tres se llama variable manipulada y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador que usemos.

Las tres componentes de un controlador PID son: parte **P**roportional, acción **I**ntegral y acción **D**erivativa. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretenderá lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones.

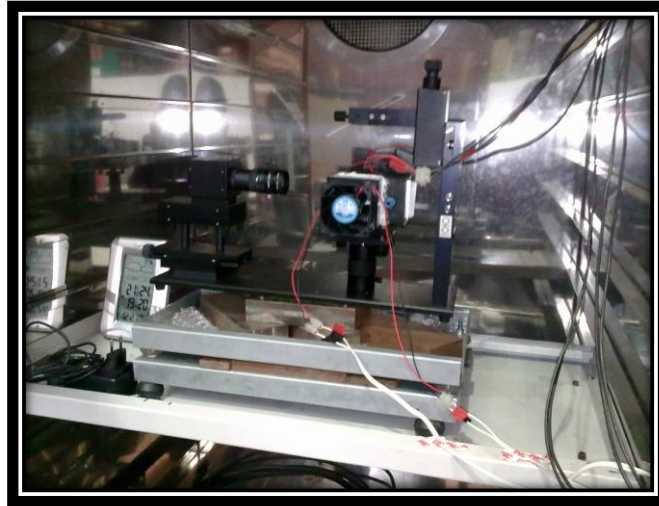


Ilustración 36: microcamara(1).

Para medir la tensión superficial se emplea un dispositivo (microcamara) que controlara la temperatura y la humedad relativa mediante el control de dos peltier y el humidificador respectivamente.

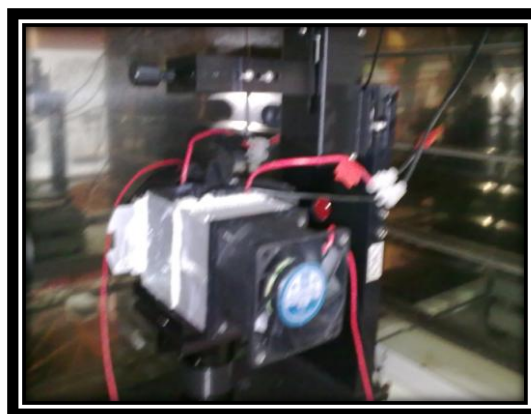


Ilustración 37: microcamara(2).

4.8 SENSOR DE TEMPERATURA [25]:



Ilustración 38: sensor de temperatura.

Es un sensor de temperatura analógico que convierte la temperatura a un voltaje analógico. Es un bajo costo, el sensor de baja potencia con una precisión de $\pm 2^\circ \text{C}$ de 0°C a $+70^\circ \text{C}$, mientras que consume 6 mA (típico) de operativo actual.

A diferencia de los sensores de resistencia (como termistores), el lineal de Active Termistor IC no requiere una circuito adicional de acondicionamiento de señal. Por lo tanto, el circuito de polarización coste de desarrollo para termistor soluciones se pueden evitar mediante la aplicación de este bajo costo dispositivo. El pin de salida de tensión puede ser directamente conectado a la entrada del ADC del microcontrolador. Los coeficientes de temperatura se escalan para proporcionar un 1°C / bits de resolución de un ADC de 8 bits con una tensión de referencia de 2.5V y 5V, respectivamente.

Proporciona una solución de bajo costo para aplicaciones que requieren la medida de un cambio relativo de la temperatura. Cuando se mide la variación relativa de la temperatura de $+25^\circ \text{C}$, una exactitud de $\pm 1^\circ \text{C}$ (típico) se puede realizar a partir de 0°C a $+70^\circ \text{C}$. Esta precisión también se puede lograr mediante la aplicación de sistema de calibración a $+25^\circ \text{C}$. Además, esta familia es inmune a los efectos de capacitancia parásita y puede conducir a gran capacitiva carga. Esto proporciona placa de circuito impreso (PCB) de diseño flexibilidad de diseño al permitir que el dispositivo de forma remota ubicado en el microcontrolador. Agregando un poco de capacitancia en la salida también ayuda a la producción respuesta transitoria mediante la reducción de rebasamiento. Sin embargo, la carga capacitiva no es necesaria para la estabilidad de salida del sensor.

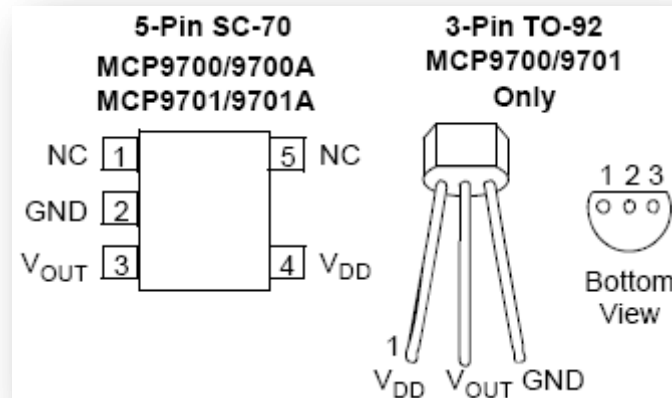


Ilustración 39:MCP9701-E/T0 MICROCHIP

4.9 SENSOR DE HUMEDAD [26]:

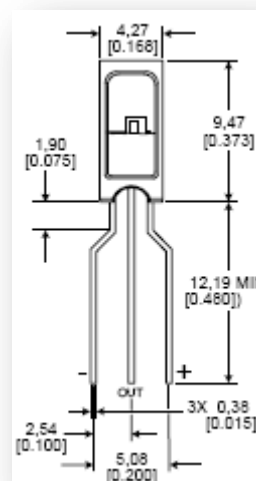


Ilustración 40: HIH-40000SERIES. SENSOR DE HUMEDAD.

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA

Características:

- Tensión de alimentación : 4 a 5,8 VDC
- Monolíticos
- Encapsulado SIP de 3 pines de 2,5mm de separación
- Rango de medición : 0 a 100% de HR (Humedad relativa)
- Temperatura de operación: -40 a 85°C
- Linealidad: $\pm 0,5\%$ de HR
- Salida: 0,8 – 3,9VDC (0-100% HR) @ $V_{cc}=5VDC$

HIH-4000A	
Precisión :	$\pm 3,5\%$
Estabilidad :	$\pm 0,2\%$ HR en 1 año
Histéresis :	$\pm 3\%$
Intercambilidad :	$\pm 5\%$
Tiempo de respuesta :	15 sg
Consumo 5VDC :	500uA

Tabla 5: Características del sensor de humedad.

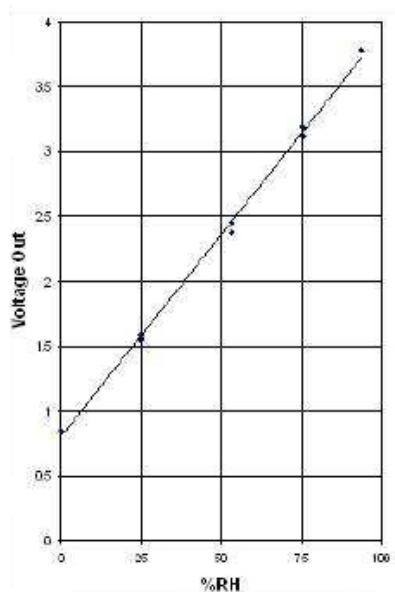


Ilustración 41: Comportamiento del sensor de humedad relativa

4.10 CEC TEST POINT V 7.0:

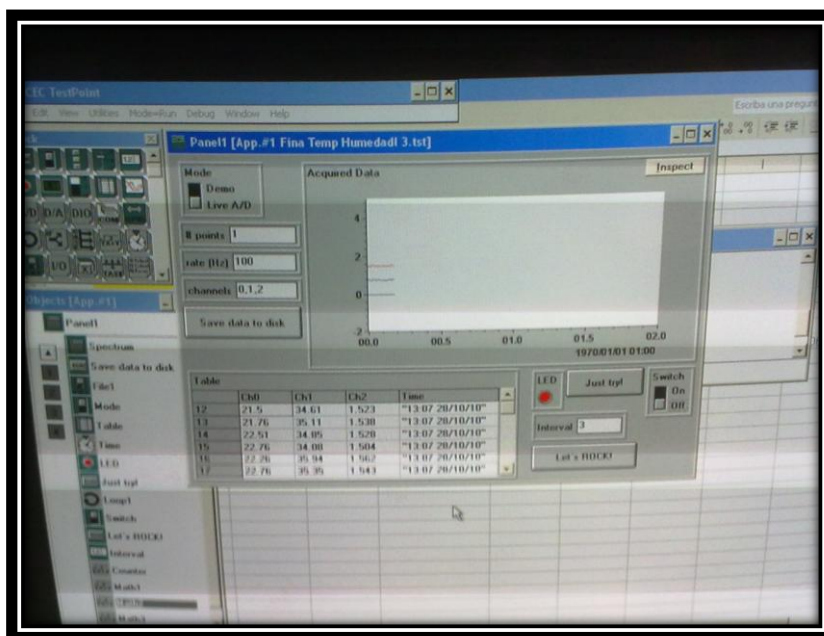


Ilustración 42: CEC TEST POINT V 7.0:

Para que dicho programa realice las mediciones de temperatura y humedad de los chips será necesario llevar a cabo una calibración para ello empleamos distintas ecuaciones:

Para el dispositivo medidor de temperatura aplicamos:

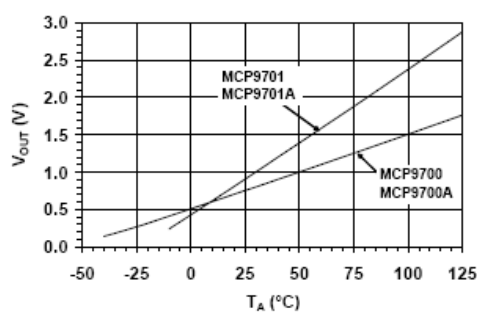


Ilustración 43: Relación voltaje & temperatura del programa CEC TEST POINT V 7.0

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated:						
MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load.						
MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -10^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load.						
Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
Power Supply						
Operating Voltage Range	V_{DD}	2.3	—	5.5	V	MCP9700/9700A
	V_{DD}	3.1	—	5.5	V	MCP9701/9701A
Operating Current	I_{DD}	—	8	12	μA	
Power Supply Rejection	$\Delta^{\circ}C/\Delta V_{DD}$	—	0.1	—	$^{\circ}C/V$	
Sensor Accuracy (Notes 1, 2)						
$T_A = +25^{\circ}C$	T_{ACY}	—	± 1	—	$^{\circ}C$	
$T_A = 0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$	T_{ACY}	-2.0	—	+2.0	$^{\circ}C$	MCP9700A/9701A
$T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$	T_{ACY}	-2.0	—	+4.0	$^{\circ}C$	MCP9700A
$T_A = -10^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$	T_{ACY}	-2.0	—	+4.0	$^{\circ}C$	MCP9701A
$T_A = 0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$	T_{ACY}	-4.0	—	+4.0	$^{\circ}C$	MCP9700/9701
$T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$	T_{ACY}	-4.0	—	+6.0	$^{\circ}C$	MCP9700
$T_A = -10^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$	T_{ACY}	-4.0	—	+6.0	$^{\circ}C$	MCP9701
Sensor Output						
Output Voltage, $T_A = 0^{\circ}C$	$V_{0^{\circ}C}$	—	500	—	mV	MCP9700/9700A
Output Voltage, $T_A = 0^{\circ}C$	$V_{0^{\circ}C}$	—	400	—	mV	MCP9701/9701A
Temperature Coefficient	T_C	—	10.0	—	mV/ $^{\circ}C$	MCP9700/9700A
	T_C	—	19.5	—	mV/ $^{\circ}C$	MCP9701/9701A
Output Non-linearity	V_{ONL}	—	± 0.5	—	$^{\circ}C$	$T_A = 0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$ (Note 2)
Output Current	I_{OUT}	—	—	100	μA	
Output Impedance	Z_{OUT}	—	20	—	Ω	$I_{OUT} = 100 \mu A$, $f = 500$ Hz
Output Load Regulation	$\Delta V_{OUT}/\Delta I_{OUT}$	—	1	—	Ω	$T_A = 0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$, $I_{OUT} = 100 \mu A$

Tabla 6: Characteristic CEC TEST POINT V 7.0

Tomamos los parámetros del manual de especificaciones del microchip;

$$V_{out} = T_C \times T_A + V_{0^{\circ}C}$$

Dónde:

- $T_C = 19,5mV$
- $T_A = TEMPERATURA AMBIENTE$
- $V_{0^{\circ}C} = 400mV$

Despejamos y obtenemos la ecuación de aplicación en el sistema:

$$T_A = V_{out} \times 51,28 - 17,98$$

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA

Para el dispositivo medidor de humedad aplicamos:

PERFORMANCE SPECIFICATIONS (At 5 Vdc supply and 25 °C [77 °F] unless otherwise noted.)
(%RH performance specifications include test system measurement errors (±0.5 % typical.)

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Interchangeability (best fit straight line)	–	–	–	–
0 % to 60 %	-5	–	5	%RH
60 % to 100 %	-8	–	8	%RH
Interchangeability (2nd order curve)	–	±3.5	–	%RH
Accuracy ¹ (best fit straight line)	–	±3.5	–	%RH
Accuracy (2nd order curve)	–	±2.5	–	%RH
Hysteresis	–	3	–	%RH
Repeatability	–	±0.5	–	%RH
Settling time	–	–	70	ms
Response time (1/e in slow moving air)	–	15	–	s
Stability ² (@ 50 %RH)	–	±1.2 (per year)	–	%RH
Stability ² (@ 50 %RH)	–	±0.5 (per year)	–	%RH
Voltage supply	4	–	5.8	Vdc
Current supply	–	–	500	µA
Voltage output (1 st order fit)	$V_{out} = V_{supply} (0.0062(\text{sensor RH}) + 0.16)$			
Voltage output (2nd order curve fit)	$V_{out} = 0.00003(\text{sensor RH})^2 + 0.0281(\text{sensor RH}) + 0.820$, typical @ 25 °C			
Temperature compensation	$V_{out} = (0.0305 + 0.0000441 - 0.00000111T^2)(\text{Sensor RH}) + (0.9237 - 0.0041T + 0.000040T^2)$, T=Temperature in °C			
Operating temperature	-40[-40]	See Figure 1.	85[185]	°C[°F]
Operating humidity	0	See Figure 2.	100	%RH
Storage temperature	-40[-40]	–	125[257]	°C[°F]
Storage humidity	See Figure 2.			%RH

Tabla 7: Especificaciones del sensor humedad

$$\text{Sensor RH} = \frac{(V_{out} - 0.9237 + (0.0041 \times (T)) - (0.000040 \times ((T)^2)))}{0.0305 + (0.000044 \times (T)) - (0.0000011 \times ((T)^2))}$$

4.11 KSV Optical measuring devices instruments

En nuestro trabajo se utiliza un equipo óptico para el cálculo de la tensión superficial KSV instrument Ltd. CAM101, con una fuente de luz de fondo LED ultra rojo, modelo DLC2-6SRD de 20 mm, una cámara monocromática con dispositivo de carga acoplado CCD con interfaz Fire Wire modelo A FWCAM V M y óptica GMT35018MCN de 50 mm/1,8 2/3" con extensión de 30 mm.

Emplearemos un ordenador con el software KSV CAM versión 4.0.1 de 32 bits para el procesamiento de la imagen. El sistema presenta intervalos de medición de 0,01-999 mN/m en la medida de la tensión superficial, con una precisión según el fabricante de (más menos) 0,001 mN/m con intervalos de fotogramas de 33 ms a 1000 s y capaz de realizar 30 imágenes completas por segundo.

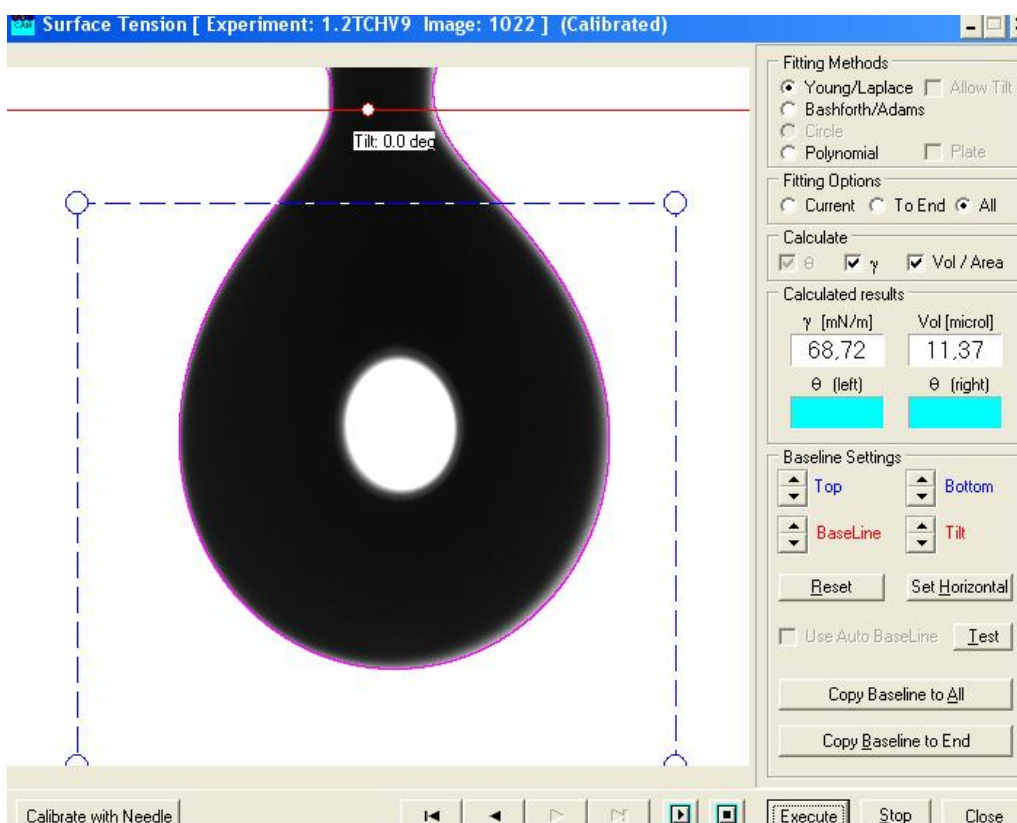


Ilustración 44: gota medida por el programa de tensión superficial



Ilustración 45: equipo optico

4.12 JERINGA

Para dispensar la gota emplearemos una jeringa manual Hamilton de 1ml y su respectivo capilar.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA



Ilustración 46: jeringa Hamilton

Para realizar la medición es necesario realizar la calibración del equipo para asegurarnos que las medidas tomadas serán las precisas.

Denominamos calibración al conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores de magnitudes indicados por un instrumento o sistema de medición, o valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los correspondientes valores aportados por patrones.

La calibración será realizada con el software perteneciente al equipo que calibrará la precisión de la imagen para la posterior toma de medidas de la gota y que nos aporte la fiabilidad adecuada de las medidas tomadas.

Descripción del elemento empleado para realizar la calibración:

El equipo se calibra empleando una esfera de carburo de tungsteno calibrada de $4000 \pm 1,0 \mu\text{m}$ de radio, con certificado de calibración N° 7202390 Ultra Prazision Messezeuge GMBH.

Description: $4,000\text{mm} \pm 1,0 \mu\text{m}$ grade 25 Tungsten Carbide balls-with certificates	 <p>4,000mm \pm 1,0µm Grade 25 Tungsten Carbide balls-with certificates</p> <p>Specific size: 4,00010 mm</p> <p>DATE: 09 Jan 2007</p> <p>CERTIFICATE OF CALIBRATION</p>	

Tabla 8: datos del sistema de calibración

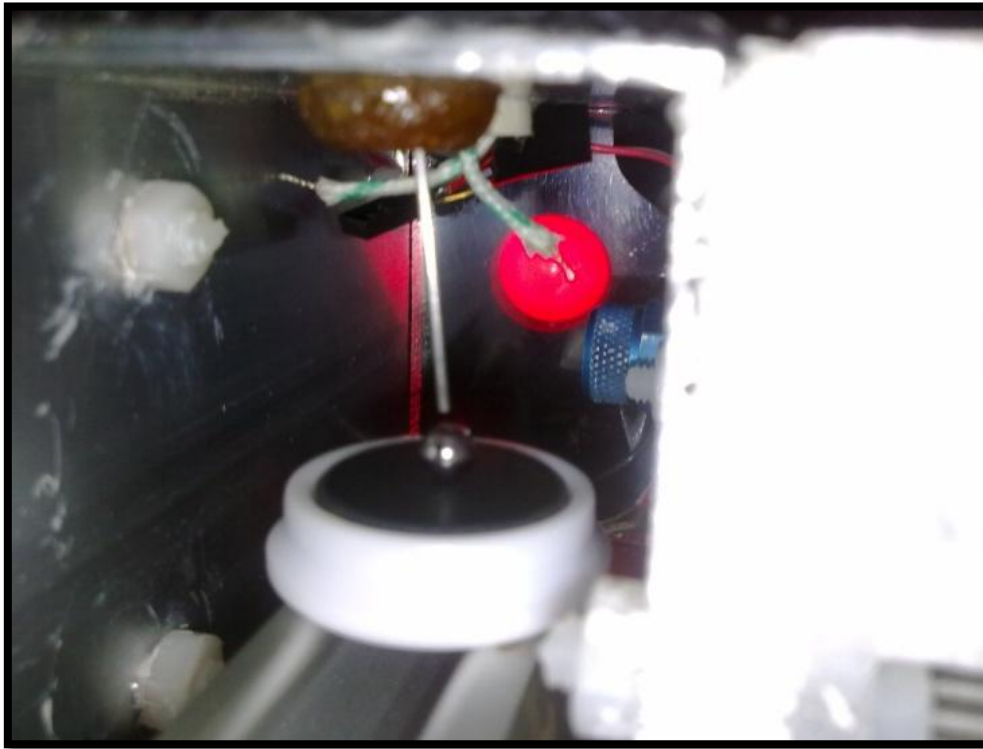


Ilustración 47: momento de calibración

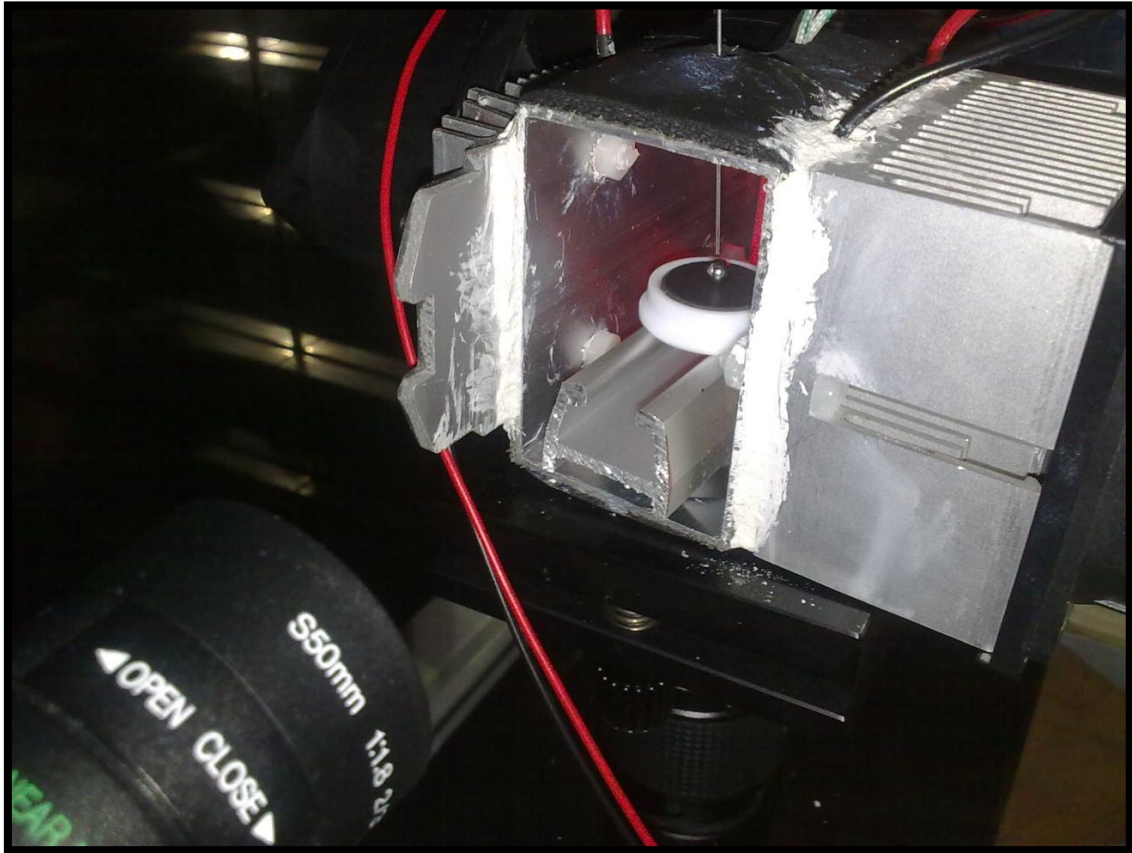


Ilustración 48: calibración

Es importante mencionar que hemos empleado una microcámara para aislar la jeringa del exterior, este elemento no permitirá controlar mejor la humedad haciendo más precisas nuestras mediciones.

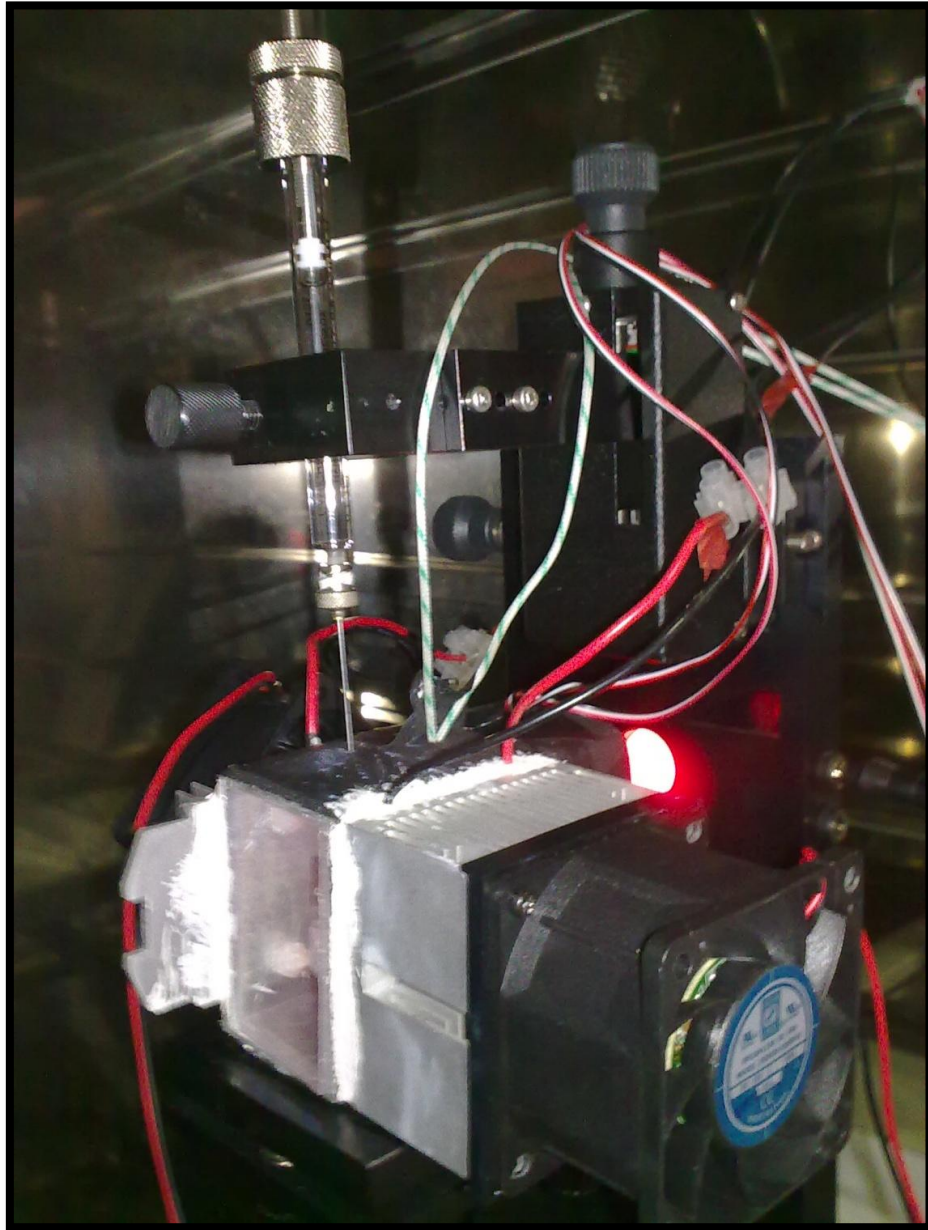


Ilustración 49: sistema preparado para comenzar a medir

4.13 AGUA DESIONIZADA

Para la realización de todas nuestras pruebas emplearemos agua desionizada incolora e inodora, con una densidad de $20,0 \pm 0,2$ °C de $1000 \pm 0,005$ g/ml (UNE 26-389), con alcalinidad PH de 6-7.5 (UNE 26-390), con conductividad eléctrica inferior a $800 \mu\text{S}/\text{m}$.

El agua desionizada o desmineralizada es aquella a la cual se le han quitado los cationes, como los de sodio, calcio, hierro, cobre y otros, y aniones como el carbonato, fluoruro, cloruro, etc. mediante un proceso de intercambio iónico. Esto significa que al agua se le han quitado todos los iones excepto el H^+ , o más rigurosamente H_3O^+ y el OH^- , pero puede contener pequeñas cantidades de impurezas no iónicas como compuestos orgánicos.

Es parecida al agua destilada en el sentido de su utilidad para experimentos científicos, por ejemplo en el área de la química analítica donde se necesitan aguas puras libres de iones interferentes.

Características:

- El agua desionizada tiene valores típicos de resistividad de $18,2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$, o su inversa, la conductividad, de $0,055 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.
- El agua desionizada puede cambiar su pH con facilidad al ser almacenada, debido a que absorbe el CO_2 atmosférico. Éste, al disolverse, forma ácido carbónico, de ahí el aumento de la acidez, que puede ser eliminada hirviendo el agua.
- El agua desionizada es bastante agresiva con los metales, incluso con el acero inoxidable, por lo tanto debe utilizarse plástico o vidrio para su almacenaje y manejo.



Ilustración 50: agua desionizada

4.14 VOLTIMETRO



Ilustración 51: voltímetro

Lo emplearemos en nuestro proceso experimental, para comprobar los valores obtenidos por la fuente.

4.15 GEL DE SILICE



Ilustración 52: Gel de sílice QP, Panreac de 3–6mm.

El gel de sílice es una forma granular y porosa de dióxido de silicio fabricado sintéticamente a partir de silicato sódico. A pesar del nombre, el gel de sílice es un sólido.

Se suele encontrar comúnmente en la vida diaria en forma de pequeñas esferas envasadas en bolsas transpirables. En esta forma, se usa como agente desecante para controlar la humedad local y evitar el deterioro de ciertos bienes. Debido a aditivos venenosos añadidos al producto, como el cloruro de cobalto, y a su gran capacidad de absorción de humedad, habitualmente los paquetes de gel de sílice llevan advertencias destinadas a que los usuarios no ingieran el contenido de los mismos. Si se consume gel de sílice puro, es poco probable que cause una enfermedad grave o crónica, no obstante puede ser problemático. Sin embargo, algunos desecantes pueden contener fungicidas o pesticidas. Los desecantes alimenticios no deben contener ningún veneno que pueda producir daño en los humanos si se consume en las cantidades normales incluidas con los alimentos.

Su gran porosidad, que le otorga alrededor de $800 \text{ m}^2/\text{g}$ de superficie específica, le convierte en un absorbente de agua. Por este motivo se utiliza para reducir la humedad en espacios cerrados; normalmente hasta un 40%. Cuando se ha saturado de agua el gel se puede regenerar sometiéndolo a una temperatura de 150°C , a razón de 1,5 horas por litro de agua.

Este gel no es tóxico, inflamable ni químicamente reactivo. Sin embargo, los pequeños envases de gel llevan un aviso sobre su toxicidad en caso de ingestión. Se debe a que el cloruro de cobalto, que se suele añadir para indicar la humedad del gel, sí es tóxico. El cloruro de cobalto reacciona con la humedad, cuando está seco es de color azul y se vuelve rosa al absorber humedad. El polvo que se forma al manipular este material puede generar silicosis si se respira.

Otra de las sustancias químicas similares con una mayor porosidad es el aerogel.

Pretendemos secar el ambiente en la maquina adiabática para comenzar nuestras medidas desde valores de humedad cero, y comenzar a medir aumentando la humedad, sin tener que medir valores iniciales que ocasionaran errores posteriores en la toma de medidas.

4.16 Humidificador

Pretendemos variar la temperatura para una gota de agua de manera progresiva, consiguiendo la variación de la tensión superficial a medida que controlamos la humedad relativa.

Para ello contamos con el siguiente humidificador:



Ilustración 53: Humidificador por ultrasonidos Medibreeze

a) **Función**

Humidificador con Tecnología Ultrasónica para una buena calidad de aire ambiental. Alta dispersión de las micropartículas emitidas.

2 niveles de intensidad de vaporización.

6 Luces láser azul para ambientación Ahorro de energía consumo reducido. Apagado automático de seguridad con el depósito vacío

b) **Contenido**

Humidificador por ultrasonidos Medibreeze adaptador a red.

c) **Datos técnicos**

14 W

Depósito de agua de 680 ml

Horas de utilización con depósito lleno: velocidad 1: 9 horas aprox.,
velocidad 2: 6 horas aprox.

Admite esencias solubles en agua: eucalipto, jazmín, limón, lavanda y rosa.

d) **Consejos**

Se recomienda utilizar agua poco calcárea: Mineral, de osmosis o destilada.

No añadir aceites esenciales ya que pueden dañar el aparato.

e) **Datos logísticos**

Ref. 60003

Dimensiones: 19,3 x 12,5 x 25 cm.

Peso neto: 1 kg.

Unidades por caja: 3

Garantía de 3 años.

f) **Código EAN:** EAN 40 15588 60003 3

CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS:

5. RESULTADOS

Se realizaron distintas mediciones a una misma temperatura, fuimos aumentando la humedad relativa un 5% hasta alcanzar un valor de un 100% de concentración y tomamos el valor de tensión superficial para cada valor. Siempre manteniendo el valor del volumen de gota constante.

Comenzamos con valores de temperatura de 5°C y fuimos incrementando poco a poco esta hasta alcanzar valores del 14°C, con el fin de lograr observar cómo se comporta la tensión superficial para una misma temperatura comenzando con valores de humedad relativa del 100% hasta los valores más bajos que nos permitía lograr nuestro montaje.

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA

A continuación se muestra los resultados experimentales obtenidos con todas las condiciones especificadas anteriormente:

% HR	Temperatura (°C)	Densidad del agua (Kg/m ³)	Volumen de gota(ul)	St(mN/m)
100	5,0 °C	1001,11	11,91	74,85
95	5	1001,11	11,91	74,84
90	5	1001,11	11,91	74,85
85	5	1001,11	11,79	74,87
80	5	1001,11	11,79	74,88
75	5	1001,11	11,79	74,94
70	5	1001,11	11,77	74,93
65	5	1001,11	11,78	74,95
60	5	1001,11	11,78	74,93
55	5	1001,11	11,78	74,98
50	5	1001,11	11,74	74,97
45	5	1001,11	11,76	74,96
40	5	1001,11	11,75	75,01
35	5	1001,11	11,75	74,95
30	5	1001,11	11,91	74,95
25	5	1001,11	11,88	75,04
100	6,3 °C	1000,84	11,73	74,80
95	6,3	1000,84	11,80	74,78
90	6,3	1000,84	11,72	74,78
85	6,3	1000,84	11,72	74,79
80	6,3	1000,84	11,72	74,83
75	6,3	1000,84	11,73	74,89
70	6,3	1000,84	11,73	74,86
65	6,3	1000,84	11,77	74,90
60	6,3	1000,84	11,77	74,89
55	6,3	1000,84	11,74	74,93
50	6,3	1000,84	11,74	74,91
45	6,3	1000,84	11,73	74,89
40	6,3	1000,84	11,74	74,93
35	6,3	1000,84		74,91
30	6,3	1000,84	11,40	74,90

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA

% HR	Temperatura (°C)	Densidad del agua (Kg/m ³)	Volumen de gota(ul)	St(mN/m)
100	8,0 °C	1000,49	11,79	74,59
95	8	1000,49		74,56
90	8	1000,49		74,55
85	8	1000,49	11,82	74,58
80	8	1000,49	11,83	74,63
75	8	1000,49	11,82	74,64
70	8	1000,49	11,87	74,63
65	8	1000,49	11,81	74,71
60	8	1000,49	11,82	74,68
55	8	1000,49	11,84	74,75
50	8	1000,49	11,83	74,74
45	8	1000,49	11,83	74,72
40	8	1000,49	11,85	74,77
35	8	1000,49	11,85	74,78
30	8	1000,49	11,79	74,80
100	9,5 °C	1000,49	11,79	74,80
95	9,5	1000,49	12,09	74,09
90	9,5	1000,49	12,09	74,08
85	9,5	1000,49	12,08	74,10
80	9,5	1000,49	12,07	73,96
75	9,5	1000,49	12,07	73,96
70	9,5	1000,49	12,07	73,96
65	9,5	1000,49	12,07	73,96
60	9,5	1000,49	12,07	73,91
55	9,5	1000,49	12,07	73,91
50	9,5	1000,49	12,11	73,88
45	9,5	1000,49	12,07	73,92
40	9,5	1000,49	12,06	73,89
35	9,5	1000,49	12,06	73,82
30	9,5	1000,49	12,06	73,82

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA

% HR	Temperatura (°C)	Densidad del agua (Kg/m ³)	Volumen de gota(ul)	St(mN/m)
100	11,4 °C	999,78	11,90	74,46
95	11,4	999,78	11,90	74,43
90	11,4	999,78	11,95	74,41
85	11,4	999,78	11,95	74,43
80	11,4	999,78	11,96	74,46
75	11,4	999,78	11,97	74,49
70	11,4	999,78	11,98	74,49
65	11,4	999,78	11,99	74,55
60	11,4	999,78	12,00	74,55
55	11,4	999,78	12,02	74,59
50	11,4	999,78	12,02	74,59
45	11,4	999,78	12,52	74,58
40	11,4	999,78	12,54	74,63
35	11,4	999,78	12,56	74,66
30	11,4	999,78	12,55	74,68
100	14,0 °C	999,25	12,55	74,34
95	13,95	999,25	12,05	74,28
90	13,95	999,25	12,09	74,25
85	13,95	999,25	12,08	74,32
80	13,95	999,25	12,08	74,31
75	13,95	999,25	12,05	74,34
70	13,95	999,25	12,05	74,33
65	13,95	999,25	12,05	74,38
60	13,95	999,25	12,05	74,35
55	13,95	999,25	12,05	74,45
50	13,95	999,25	12,05	74,49
45	13,95	999,25	12,02	74,49
40	13,95	999,25	12,06	74,53
35	13,95	999,25	12,06	74,51
30	13,95	999,25	12,06	74,58

Tabla 9: datos obtenidos

5.1 GRAFICA DE TENSION SUPERFICIAL Vs HUMEDAD

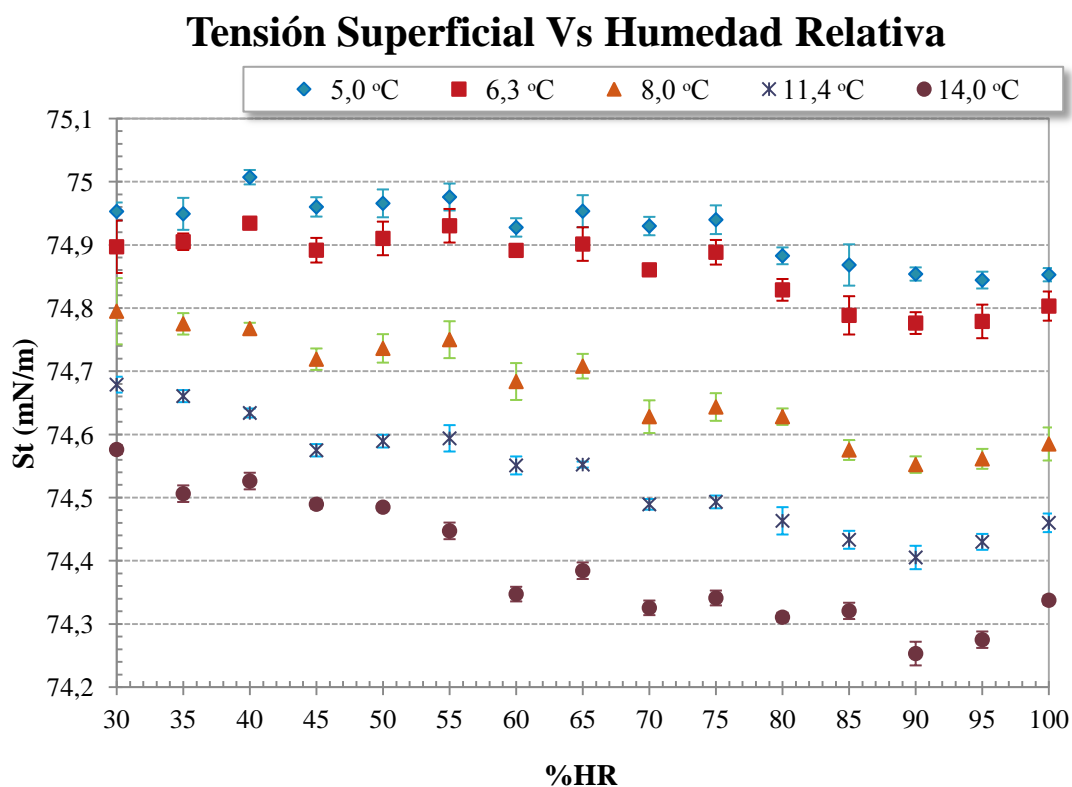


Gráfico 1: TENSION SUPERFICIAL Vs HUMEDAD

En esta grafica apreciamos la relación establecida entre tensión superficial y humedad a distintas temperaturas, relación que no ha sido calculada con anterioridad como hemos ido viendo a lo largo de este trabajo, puesto que no se conocen antecedentes al respecto, es de importancia comprobar cómo se comporta la tensión superficial en los distintos porcentajes de humedad, haciendo variar la temperatura desde valores de 5°C hasta 14°C, y manteniendo dicha temperatura constante a lo largo del incremento de la humedad, percibimos la variación existente en la tensión superficial.

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN CÁMARA MICROREOLOGICA

Vemos como a temperaturas superiores existe menor precisión en la toma de medidas, mostrando mayores discontinuidades de la tensión superficial.

Así para valores de temperatura de 5°C, la tensión superficial al 30% HR es de aproximadamente 74,953 y al 100% de humedades de 74,8 existiendo una variación de unos 0,2, para valores de temperatura de 14,0°C la variación existente alcanza rangos 0,23.

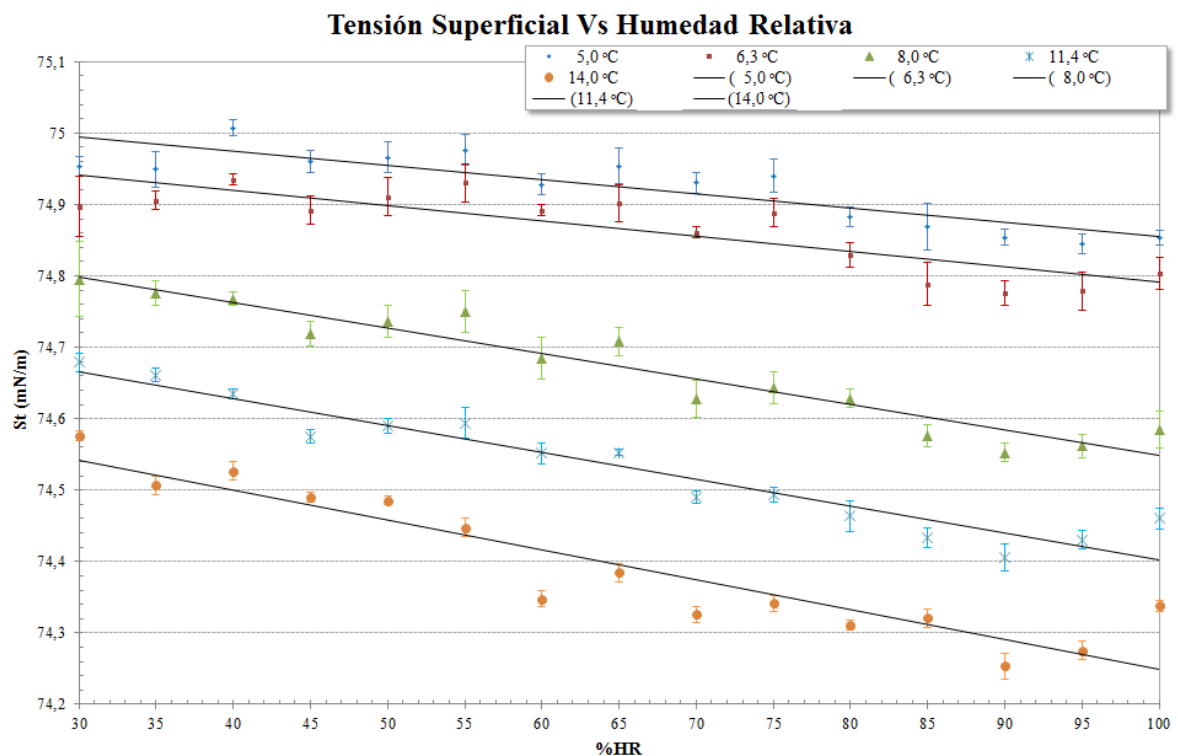


Gráfico 2 Linealidad de la St & HR

Comprobamos que los valores de dispersión son mayores para las temperaturas de 8°C y 11,4°C, y que para bajas temperaturas la dispersión es menor.

Vemos que a medida que crece la temperatura se aleja más los valores obtenidos a los de la aproximación a la recta, obteniendo mayores discontinuidades en su recorrido como comentábamos con anterioridad. Es decir a medida que se incrementa la temperatura, la desviación es cada vez mayor.

5.2 GRAFICA DE VOLUMEN:

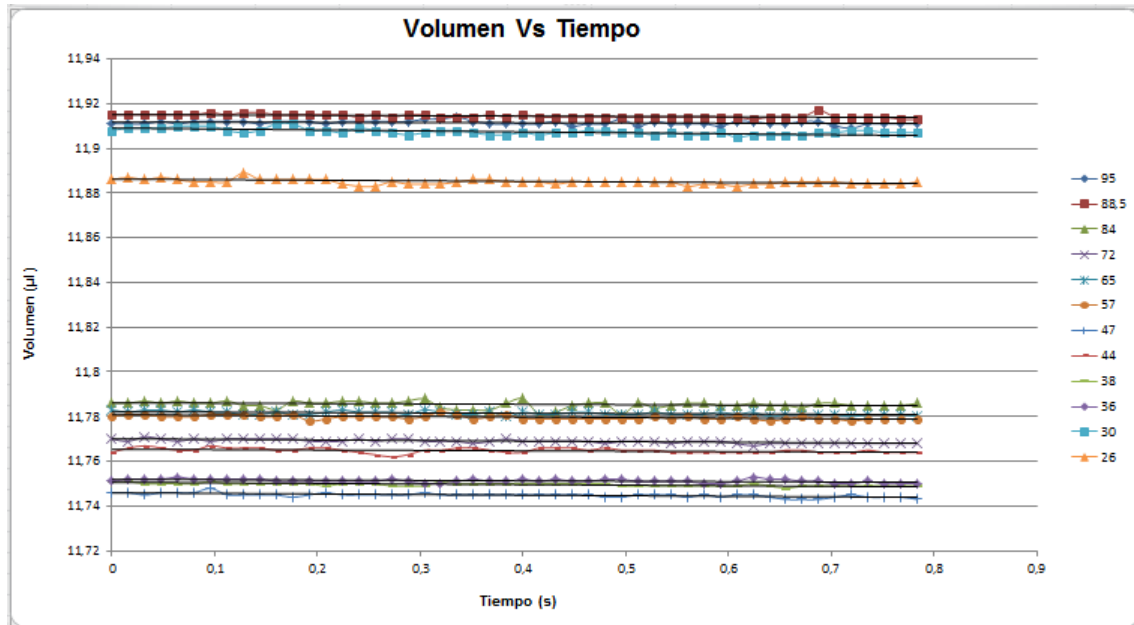


Gráfico 3: Variación de Volumen con respecto al tiempo

La grafica nos vale para demostrar que los valores de medidas tomadas se realizan a un volumen constante, puesto que este era uno de los requisitos necesarios en nuestro estudio.

Vemos como para una misma temperatura, el volumen tiene una función constante, lineal, sin apenas ascensos o descensos en el tiempo.

Podemos ver también como todas las medidas se encuentran en un intervalo de volúmenes que van desde 11,72 µl a 11,94µl. Estos datos nos demuestran que nuestras mediciones se realizaron a volumen constante para las diferentes temperaturas, y la falta de exactitud es muestra de un fallo en la precisión humana.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

Nuestro estudio es el inicio de la medición de la tensión superficial con respecto a la humedad y temperatura. De manera contundente existe una relación de dependencia de la tensión superficial con respecto a la temperatura y a la humedad relativa.

Cuando se experimenta un incremento de temperatura para gota con volumen constante, la tensión superficial disminuye. Para incrementos de humedad relativa, la tensión superficial disminuye su valor respectivamente.

Observando los resultados obtenidos podemos precisar que los sensores empleados no presentan una precisión aceptable para dichas mediciones, debido a la dispersión en los valores de humedad relativa.

El control de humedad relativa debe ser mejorado, así como el sistema de aislamiento.

Los rangos de temperaturas utilizados para este estudio están acotados entre 5°C y 14°C, no queriendo decir que con este rango sea definitivo el estudio de la tensión superficial.

CAPITULO VII: TRABAJOS FUTUROS

Tras realizar este trabajo de investigación comprobamos que mejorando el sistema alcanzaríamos valores que nos completarían la información que aquí desvelamos del comportamiento de la tensión superficial respecto a la humedad relativa.

Para poder profundizar en el estudio sería conveniente aportar mejoras que ayuden a alcanzar valores de humedad inferiores y más precisos, así como temperaturas menores en espacios más controlados. Esto ocasionaría una mejora en el montaje y en el sistema de enfriamiento. Sería interesante mejorar el control de volumen de gota y comenzar a probar el comportamiento para otros fluidos.

Con la automatización del sistema se mejoraría la precisión en la medición.

CAPITULO VIII: REFERENCIAS

[1] Alejandro Martínez U. - Ricardo Ortega P. White, Harvey E. (1948). Modern College Physics. Van Nostrand. ISBN 0442294018.

[2] Fisicoquímica, Autor: Gilbert W. Castellan, Ed. Pearson, Pag: 433, Tema 18 "Fenómenos superficiales". Wikimedia Commons alberga contenido multimedia sobre Tensión superficial.

[3]Ortega, Manuel R. (1989-2006) (en español). Lecciones de Física (4 volúmenes). Monytex. ISBN 84-404-4290-4, ISBN 84-398-9218-7, ISBN 84-398-9219-5, ISBN 84-604-4445-7.

[4]Resnick, Robert & Halliday, David (2004) (en español). Física 4ª. CECSA, México. ISBN 970-24-0257-3.

[5]Tipler, Paul A. (2000) (en español). Física para la ciencia y la tecnología (2 volúmenes). Barcelona: Ed. Reverté. ISBN 84-291-4382-3.

[6]GIANCOLI, C. DOUGLAS. FISICA.Principios con aplicación. Sexta edición.

PEARSON EDUCACION, Mexico, 2006. ISBN:970-26-0695-0

[7]Castellan, Gilbert W., Fisicoquímica, Ed. Pearson, pág. 433, tema 18, "Fenómenos superficiales".

[8] Alejandro Martínez U. - Ricardo Ortega P. [1]

[9]White, Harvey E. (1948). Modern College Physics. van Nostrand. ISBN 0442294018.

[10] Universidad Nacional de Colombia. www.virtual.unal.edu.co

[11] Universidad Nacional de Colombia. www.virtual.unal.edu.co

[12] ADAMSON A. W. Physical Chemistry of surfaces, Ed. John Wiley & sons 1981.

[13] LEVINE Ira. Fundamentos de Fisicoquímica.

[14] CUADERNO FIRP S205-B. METODOS de MEDICION de la TENSION SUPERFICIAL o INTERFACIAL. Jean L. SALAGER y Raquel ANTON. MODULO DE ENSEÑANZA EN FENOMENOS INTERFACIALES.

[15] Tratado de cuidados críticos y emergencias, escrito por Luis Miguel Torres Morera.

[16] A. Adamson, Physical Chemistry of Surfaces, 2nd Ed., Interscience 1967, (Contiene una presentación intuitiva de todos los métodos utilizados desde hace años. En particular posee las tablas de corrección de los métodos siguientes: ascenso capilar, presión máxima de gota, volumen de gota, anillo de Nouy, y gota pendiente). J. Bikerman, Physical Surfaces, Academic Press (1970), (Describe también muchos métodos pero a veces en forma muy escueta. Sin embargo tiene un enfoque más físico que el texto de Adamson). J. Cayias, R. Schechter & W. Wade, The measurement of low interfacial tension via the spinning drop technique, ACS Symposium Series Number 8, Adsorption at Interfaces, (234-247, American Chemical Society (1975) Artículo de base sobre el método de la gota giratoria, el cual no se menciona en los viejos textos de Adamson y Bikerman). J. Drelich, Ch. Fang, C. L. White. Measurement of interfacial tension in fluid-fluid systems, Encyclopedia of Surface and Colloid Science, A. Hubbard, Ed., Marcel Dekker (2002) pp 3152-3166.

[17] Métodos de Medición de la Tensión. Superficial o Interfacial. Autor: Jean L. Salager y Raquel Antón. Referencia: Cuaderno FIRP N° 205B. Fecha (marzo 2005)

Editado y publicado por: Laboratorio FIRP Escuela de INGENIERIA QUIMICA,
UNIVERSIDAD de Los ANDES, Mérida 5101 VENEZUELA.

[18] Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación. Universidad
Complutense de Madrid. TENSIÓN SUPERFICIAL E INTERFACIAL. ÁNGULOS DE
CONTACTO.

[19] Catrerine Lam, C.N., J.J., Neumann, A.W. Measuring contact angle.

[20] www.hdepa.fquim.unam.mx por M. C. Teresa Unda C.

[21] "M.A. Álvarez Valenzuela, REVISTA MEXICANA DE FÍSICA 56 (4) 334-338"

[22] www.oem.co.uk

[23] www.shoptronica.es

[24] Albert Paul Malvino (2000). Principios de Electrónica. Mc Graw Hill

[25] ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21942c.pdf

[26] www.gmelectronica.com.ar/catalogo/pag43